Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. phil. Dr. nat. tech. h. c. Hans Linser

---

Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der monokotylen Pflanzen (Sommergerste, Winterweizen und Mais) mit Zink, Mangan, Kupfer und Eisen

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Ernährungswissenschaften
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
B. Sc., Diplomlandwirt
Yousef Abu Dahi
aus Qubaiba/Palästina

Gießen, im Oktober 1973

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor, Professor Dr. phil. Dr. der techn. Dr. [illegible]

Der Einfluss der Phosphatenstörung auf die Versorgung der monokotylen Pflanzen (Sommergerste, Wintertrauben und Mais) mit Zink, Mangan, Kupfer und Eisen

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Erdkunde, Landwirtschaft
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
B. Sc. Diplomlandwirt
Vousef Abu Dahl
aus Dubaiba/Palästina

Gießen, im Oktober 1973

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545932_0047

Aus dem Institut für Pflanzenernährung
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Professor Dr. phil. Dr. nat. tech. h. c. Hans Linser

---

Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der monokotylen Pflanzen (Sommergerste, Winterweizen und Mais) mit Zink, Mangan, Kupfer und Eisen

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Ernährungswissenschaften
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
B. Sc., Diplomlandwirt
Yousef Abu Dahi
aus Qubaiba/Palästina

Gießen, im Oktober 1973

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

D 26

Dekan: Prof. Dr. E. Menden

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. h. c. H. Linser

2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Alkämper

Tag der mündlichen Prüfung: 24. 10. 1973

VORWORT

Herrn Professor Dr. Hans Linser bin ich für die Überlassung des Themas und für die wissenschaftliche Anleitung zu Dank verpflichtet.
Herrn Professor Hans Kühn bin ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse, für die zahlreichen wertvollen Anregungen und für die vielseitige Unterstützung zu besonderem Dank verpflichtet.
Herrn Dr.J. Bohring bin ich für die zahlreichen wertvollen Anregungen bei der Ermittlung der Korrelationskoeffizienten zu Dank verpflichtet.
Bei allen Angehörigen des Instituts für Pflanzenernährung in Gießen bedanke ich mich für ihr freundliches Entgegenkommen und ihre Hilfsbereitschaft.
Nicht zuletzt danke ich dem Deutschen Akademischen Austauschdienst hiermit für die finanzielle Unterstützung, die die vorliegende Arbeit ermöglicht hat.

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

A. EINLEITUNG 4

I. Die Bedeutung der Mikronährstoffe Zn, Mn, Cu und Fe für die höhere Pflanze 4

1. Die Bedeutung des Zinks 5
2. Die Bedeutung des Mangans 6
3. Die Bedeutung des Kupfers 8
4. Die Bedeutung des Eisens 10

II. Faktoren, die die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen beeinflussen 11

1. Das Zink 12
2. Das Mangan 12
3. Das Kupfer 15
4. Das Eisen 16

III. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Zn, Mn, Cu und Fe 18

1. Stand der bisherigen Erkenntnisse 18
2. Zusammenfassender Überblick der bisherigen Erkenntnisse 37

B. HAUPTTEIL 38

I. Versuchsdurchführung und Methodik 38

II. Versuchsergebnisse 49

1. Phosphor 49
2. Zink 62
3. Mangan 81
4. Kupfer 99
5. Eisen 112

C. DISKUSSION 125

D. ZUSAMMENFASSUNG 140

Literaturverzeichnis 145

Anhang

A. EINLEITUNG

I. Die Bedeutung der Mikronährstoffe Zn, Mn, Cu und Fe für die höhere Pflanze

Mit ständig fortschreitender Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion seit Mitte dieses Jahrhunderts ist die Anwendung mineralischer Makronährstoffdüngemittel, die immer konzentrierter und an Nebenbestandteilen immer ärmer werden, sprunghaft angestiegen. In der gleichen Zeit hat das Interesse der Agrarwissenschaften, aber auch der landwirtschaftlichen Praxis an den für Pflanze, Tier und Mensch lebensnotwendigen mineralischen Mikronährstoffen ständig zugenommen, da sich mit einer Intensivierung der Bewirtschaftungsmaßnahmen sowohl akuter als auch latenter Mikronährstoffmangel bei der Ernährung von Pflanze und Tier bemerkbar gemacht hat (BERGMANN, 1968; KATALYMOV, 1969).
Während bis gegen Ende der 40er Jahre eine Düngung mit Mikronährstoffen in den meisten europäischen Ländern nur von geringer praktischer Bedeutung war und nur auf nährstoffarmen Hochmoorböden, Heidepodsolen, stark ausgelaugter Mineralböden oder überkalkten leichten Böden eine gewisse, jedoch meist untergeordnete Rolle spielte, gewann in den 50er Jahren ganz allgemein die Düngung mit verschiedenen Mikronährstoffen (in erster Linie B, Cu, Mn, Mo und Zn) an Bedeutung (SCHARRER und KÜHN, 1955; SCHARRER, 1958; HEWITT, 1958; WINOGRADOW, 1958; SCHMITT, 1965; KÜHN, 1961). Es handelt sich dabei um jene Pflanzennährstoffe, deren Aufnahme bereits in kleinen Mengen genügt, um die höheren Pflanzen ausreichend damit zu versorgen

und ihre normale Ernährung zu gewährleisten. Auf die Bedeutung der in der vorliegenden Arbeit besonders interessierenden Mikronährstoffe für die höhere Pflanze und die Faktoren, die ihre Verfügbarkeit im Boden beeinflussen, soll im Folgenden eingegangen werden:

1. Die Bedeutung des Zinks

Daß das Zink für das Wachstum höherer Pflanzen notwendig ist, geht u.a. daraus hervor, dass verschiedene Mangelerscheinungen durch Zn-Zufuhr zum Verschwinden gebracht werden (CHAPMAN et al. 1937; HAAS, 1932). Vielfach äußern sich Zn-Mangel-Symptome in Chlorophylldefekten; auch Zwergwuchs wurde bei Zn-Mangel beobachtet (REED, 1939). Eine günstige Beeinflussung des Pflanzenwachstums durch Zinksalze stellte KANDA schon 1904 fest. Er fand, dass Erbsen im Wasserkulturversuch durch Zusatz geringer Mengen Zinksulfat in ihrem Wachstum gefördert wurden. JENSEN (1907) beobachtete eine Förderung des Weizenwachstums auf Quarzsand mit Konzentrationen von 0,0001-0,0005n Zn-Sulfat. FELLER (1918) vermochte durch Zn-Salze die Erntemenge und den Eiweißgehalt von Sojabohnen zu steigern. Vorteilhafte Wirkungen von Zink wurden auch von McHARGUE und SHEDD (1930) an Hafer und HAAS (1936) (vorteilhafte Bewurzelung der Citrusstecklinge) beschrieben. LOHMANN und KOSSEL (1939) fanden, dass die Carboxylase durch kleine Mengen von Zink gehemmt, durch größere aktiviert wird. REED (1946) vertritt die Auffassung, dass durch Zn-Mangel der Phosphorumsatz vielfach wesentlich gestört wird, so z.B. enthalten die Pflanzen, die an Zn-Mangel leiden, viel Phosphatasen, Phenoloxydasen und

organische Phosphate. Nach NASON (1958) bzw. nach NASON und EVANS (1953) können verschiedene Dehydrasen, z.B. Glutaminsäuredehydrase, Alkoholdehydrase und Milchsäuredehydrase, sowie Dehydropeptidase und Carboxypeptidase durch Zn^{2+} aktiviert werden. BROWN und STEINBERG (1953) fanden, dass bei ungenügender Zn-Versorgung des Tabaks die Katalaseaktivität vermindert wird. KLEIN und MANN (1940) stellten fest, dass die Kohlensäureanhydrase, die in jeder pflanzlichen Zelle vorkommt, ein Enzym ist, das ganz spezifisch durch Zink aktiviert wird. Nach NEISH (1939) wird es vor allem in den Chloroplasten und Protoplasma pflanzlicher Zellen angetroffen.
NICHOLAS und GOODMAN (1958) sind der Meinung, dass die Oxydation der universellen Wasserstoffüberträger (TPN und DPN) durch Zn ermöglicht wird. Die Aktivität der Aldolase bei Hafer wird bei Zn-Mangel herabgesetzt (GUINLAN-WATSON, 1951). POSSINGHAM (1956) stellte fest, dass das Zn eine günstige Wirkung auf die Eiweißsynthese der Tomate ausübte. Nach NASON (1958) wird die Bindung der Pyridinnucleotide an das Trägereiweiß durch Zn^{2+} aktiviert. TSUI (1948) und HÖFNER (1957 haben festgestellt, dass das Zink unmittelbar zur Synthese von Tryptophan und mittelbar zum Aufbau der Auxine benötigt wird.

2. Die Bedeutung des Mangans

Das Mangan spielt in der landwirtschaftlichen Praxis eine wichtige Rolle, da u.a. die Dörrfleckenkrankheit des Hafers auf Mn-Mangel zurückzuführen ist. Dieser Meinung schloss sich LUNDEGARDH (1932) an. Viele Autoren haben auf die Zusammenhänge zwischen Chlorose und Mn-Mangel hingewiesen, so z.B

HAAS (1932) bei Citruspflanzen und PETTINGER et al. (1932) bei Mais. Nach MUCKENHIRN (1936) verbessern Mn, Zn und Cu die Kartoffelerträge auf Torfböden. WERMINGHAUSEN (1957) beobachtete Mn-Mangel bei allen Obstarten. LINSER und SCHMITT (1965) berichten über Mn-Mangel bei Tabak und GÄRTEL (1962) über Mn-Mangel im Weinbau.

Zahlreiche Forscher haben darauf hingewiesen, dass bei katalytischen Vorgängen Mangansalze eine Rolle spielen (LUNDEGARDH, 1939). Die Notwendigkeit des Mangans für die Nitratassimilation haben schon BURSTRÖM (1939) und JONES et al. (1957) erkannt. Von besonderer Wichtigkeit ist auch die Rolle des Mangans bei der Aktivierung von Enzymen und Enzymsystemen. Die Wirkung des Mangans auf enzymatische Vorgänge im Zusammenhang mit der Wirkung der Indolessigsäure, die ein wichtiger Regulator des Streckungswachstums ist, haben WAYGOOD et al. (1956) registriert. KLEIN und ZIESE (1935) fanden, dass Mangan auf die Aktivierung der Arginase eine Wirkung ausübt. HEWITT (1958) stellte heraus, dass die Aktivierung zahlreicher Enzyme von Mangan abhängig ist, z.B. Phosphokinase, Phosphotransferase, Pyrophosphotransferase, Phosphatesterhydrogenase, Phosphatase und Pyrophosphatase. Auch verschiedene Enzyme des Citronensäurezyklus werden durch Mangan aktiviert. So erfordern Decarboxylierung der Oxalessigsäure und der Oxalbernsteinsäure sowie die Oxydation der α-Ketoglutarsäure die Anwesenheit von Mn^{2+} (LANG, 1970; KENTEN und MANN, 1953).

Dass das Mn die Ascorbinsäuresynthese beeinflusst, wurde schon von RUDRA (1939) und (1944), sowie ERKAMA (1947) festgestellt. SCHARRER und WERNER (1957) bestätigten diese Auffassung. BRONSART (1950) konnte durch Mn-Düngung bei schwarzen Johannisbeeren und Tomaten wesentliche Gehaltssteigerungen an Vitamin C feststellen. STEWARD und MARGOLIS (1962) fanden, dass bei Mn-Mangel der Pool löslicher Aminosäureverbindungen vergrößert ist.

3. Die Bedeutung des Kupfers

Das Kupfer wird in der praktischen Düngung hauptsächlich bei der Bekämpfung der Heidemoorkrankheit oder der Urbarmachungskrankheit angewandt. Das Hauptverbreitungsgebiet dieser vor allem Hafer befallenden Mangelkrankheit ist auf stark podsolierten Böden zu finden. Der Kupfermangel bewirkt in erster Linie eine Störung des generativen Wachstums, wogegen die vegetative Entwicklung weniger beeinträchtigt wird. In schweren Fällen der Störung des generativen Wachstums tritt überhaupt keine Blütenbildung auf. Bereits 1894 berichteten FRANK und KRÜGER über eine Kupferwirkung auf die Kartoffelpflanze. Sie beobachteten ein deutlich besseres Wachstum durch Bespritzen der Pflanzen mit 2%iger Bordeauxbrühe. Die Assimilation wurde angeregt und dadurch der Stärkegehalt erhöht. Der Ertrag an Kartoffeln wurde gestiegert. DENSCH und HUNNIUS (1924) haben Zylinder- und Gefäßversuche mit Rotklee, Buschbohnen, Lupinen, Erbsen, Pferdebohnen, Buchweizen, Roggen, Hafer und Gerste unter Zusatz von Kupfersulfat durchgeführt. Eine bis auf 30 kg/ha bemessene Kupfersulfatdüngung wirkte ertragssteigernd.

Auch SOMMER (1931) und LIPMAN (1931) berichteten über günstige Wirkungen von Kupfer in Wasserkultur auf das Wachstum von Tomaten, Flachs und Sonnenblumen. Sie betrachteten Kupfer als wesentliches Element für das Wachstum der Pflanzen.
Intensiv mit der Kupferfrage beschäftigte sich McHARGUE (1931), der dem Kupfer eine biologische Funktion beim normalen Wachstum zuschrieb. HAAS (1935) und HOAGLAND (1937), beobachtet dass die Blätter gesunder Citronenbäume einen höheren Chlorophyllgehalt besitzen als die der kranken Pflanzen.
OKUNZOW (1958) berichtete, dass das Kupfer das Chlorophyll vor frühzeitigem Abbau schützt und die Assimilationsleistung der Pflanze erhöht. MACK (1936) konnte zeigen, dass Ascorbinsäure durch kleine Mengen Kupfer zu Dehydroascorbinsäure umgewandelt wird.
Relativ viel Kupfer, nach NEISH (1939) etwa 70% des gesamten Kupfers, ist in den Chloroplasten lokalisiert. Die Vermutung, dass Kupfer auch an der Photosynthese beteiligt ist, hat daher ihre Berechtigung (ARNON,1950).
Die Cloroplasten als Zentren zahlreicher Enzymsysteme dürften wahrscheinlich verschiedene kupferhaltige Fermente enthalten. Man kennt bis jetzt einige kupferhaltige Oxydasen, also Fermente, die zur Übertragung von H-Atomen auf molekularen Sauerstoff befähigt sind. Hierzu zählen Lactase, die Polyphenoloxydase (Tyrosinase) und die Ascorbinsäureoxydase (KOVALENKO, 1970).
ROBERT (1948) ist der Auffassung, dass das Kupfer keinen Einfluss auf die Eiweißbildung ausübt. POSSINGHAM (1956) fand, dass Kupfer die Proteinsynthese begünstigt. PAULER (1968)

schloß sich dieser Auffassung an. Nach BROWN et al. (1958) begünstigte Kupfer eher die Kohlenhydratsynthese.

4. Die Bedeutung des Eisens

Während manche Autoren das Eisen, vor allem aus historischen Gründen, zu den Makronährstoffen rechnen (z.B. SCHARRER, 1955), sind andere Wissenschaftler der Meinung, dass Eisen aus folgenden Gründen den Mikronährstoffen zugeordnet werden muss:

a. Es kommt in den Pflanzenorganen vielfach in ähnlich geringen Konzentrationen vor wie die übrigen Mikronährstoffe,
b. es muss wegen seines hohen Wirkungswertes wie die anderen Mikroelemente als Hochleistungselement betrachtet werden,
c. es erfüllt im Organismus ähnliche biologische Funktionen wie die anderen Mikronährstoffe (MOAWAD, 1968).

Dem Eisen kommt in der landwirtschaftlichen Praxis insofern Bedeutung zu, als sehr häufig chlorotische Veränderungen an Pflanzen auf Fe-Mangel zurückzuführen sind. Im Stoffwechsel der Pflanze spielt Eisen eine wichtige Rolle bei der Aktivierung von Enzymsystemen (SCHARRER und MENGEL, 1969). Hierzu zählen die Katalase, die Peroxydase, die Cytochromoxydase und Cytochrome. Dass die Zellteilung nach Eintritt von Fe-Mangel aufhört, beruht nach POSSINGHAM und BROWN (1958) auf einer Hemmung der Cytochromoxydase in dem meristematischen Geweben.

PATWARHAN (1958) zeigte, dass die aus grünen Bohnen isolierte Asparaginsäure-Glutaminsäure-Transaminase spezifisch durch Fe^{2+} aktiviert wird. In die Nitratproduktion greift Eisen, wahrscheinlich zusammen mit Kupfer bei der Reduktion des

Nitrits zu Hydroxylamin ein (MEDINA und NICHOLAS, 1957; KESSLER 1964). Durch Fe-Mangel induzierte Chlorophyll-defekte wiesen auf die Rolle des Eisens in seiner aktiven Form als Fe^{2+} in der Chlorophyllproduktion hin. Nach LIEBICH (1941) sind in der Zelle ca. 80% des Eisens in den Chloroplasten vorhanden. Die Annahme, dass das Eisen auch die Proteinsynthese beeinflusst, ist nicht unberechtigt, denn zahlreiche Autoren konnten feststellen, dass bei Fe-Mangel die Eiweißproduktion zugunsten der löslichen, organischen N-Verbindungen abnimmt (DEMETRIALES, 1956 und POSSINGHAM, 1956). ILJIN (1951) fand, dass bei Fe-Mangel in Obstbaumblättern der Gehalt an reduzierenden Zuckern sowie der Gehalt an organischen Säuren erhöht wurde. Demgegenüber war der Eiweißgehalt in Folge Fe-Mangels um die Hälfte abgesunken. Ferredoxin (eine Fe-haltige prosthetische Gruppe) dient bei der Photosynthese der höheren Pflanzen als Acceptor von Elektronen aus der Hill-Reaktion (MENGEL, 1968).

II. Faktoren, die die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen beeinflussen

Die Mangelerscheinungen, die bei zahlreichen Pflanzenarten auftreten, sind meist nicht darauf zurückzuführen, dass die Spurennährstoffe im Boden in zu geringen Mengen vorhanden sind, sondern dass ihre Verfügbarkeit für die höhere Pflanze im Boden von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird.

1. Das Zink

Der Gehalt des Bodens an Gesamtzink beträgt etwa 10-500 ppm. Nur ein Teil dieses Zinks ist pflanzenverfügbar. Wie groß dieser Anteil ist, hängt von einer Reihe von Faktoren ab: Wie bei Mn, Fe und Cu wird mit zunehmender Bodenreaktion auch die Verfügbarkeit des Zinks verringert (WEAR, 1956; KICK,1969; HOSSNER und BLANCHER, 1969). Nach SHUKLA (1972) wird die Zink-Verfügbarkeit (Löslichkeit in EDTA oder Wasser) bei Böden mit pH über 5,6, mit hoher Austauschkapazität für Kationen, bei Böden mit hohem Ton- und Schluffgehalt sowie mit hohem Gehalt an austauschbarem Ca und Mg vermindert. Auch der $CaCO_3$-Gehalt spielt für die Zn-Verfügbarkeit im Boden eine wichtige Rolle (UDO und BOHN, 1970).
Es wurde ferner beobachtet, dass auf Böden, die einen hohen N- und P-Gehalt aufweisen, häufig Zn-Mangel auftritt (CHAPMAN, 1966).

2. Das Mangan

Das Mangan liegt im Boden in verschiedenen Formen vor:

a. Das austauschbare Mangan, d.h. Manganionen, die am Bodenkomplex absorbiert sind (dazu wird auch das Mangan in der Bodenlösung gezählt),
b. das leicht reduzierbare Mangan,
c. das schwer reduzierbare Mangan
d. das silikatisch gebundene Mangan.

Austauschbares und leicht reduzierbares Mangan werden zum aktiven Mangan zusammengefasst; schwer reduzierbares und sili-

katisch gebundenes Mangan bilden das inaktive Mangan. Je nach den herrschenden Bedingungen stellt sich ein Gleichgewicht ein, das durch die Reaktionsfolge

Austauschbares Mn leicht reduzierbares Mn inaktives Mn

dargestellt werden kann (ZADDACH, 1960) zitiert nach SCHACHTSCHABEL, 1955). Das aktive Mangan gilt hierbei als pflanzenverfügbar, während das inaktive Mn für die höhere Pflanze nur bedingt zugänglich ist. Mit der Erhöhung des pH-Wertes nimmt im allgemeinen der Gehalt an austauschbarem Mn ab und umgekehrt. Mit zunehmender Bodentiefe nimmt der Gehalt an austauschbarem Mn ab, da mit zunehmender Bodentiefe die biologische Aktivität und der Humusgehalt abnehmen, die für die Löslichkeit des Mangans verantwortlich sind. Der Feuchtigkeitsgrad eines Bodens spielt für das Verhältnis von austauschbarem zu reduzierendem Mn eine große Rolle.

Allgemein läßt sich sagen, dass der Gehalt an austauschbarem Mangan in trockenen Perioden abnimmt. Bei feuchtem Wetter überwiegen die reduzierenden Bedingungen, so dass das leicht reduzierebare Mangan abnimmt und das austauschbare Mangan zunimmt. Die Zunahme von austauschbarem Mangan bei Wasserübersättigung eines Bodens ist auf eine Reduktion von höheren Manganoxyden unter Mitwirkung von Mikroorganismen zurückzuführen. Wichtig ist, dass nur zweiwertige Mn durch die Pflanzen aufgenommen wird. Die Verfügbarkeit des Mangans im Boden ist noch von verschiedenen anderen Faktoren abhängig. Mit der Erhöhung des pH-Wertes des Nährsubstrats durch Kalk oder $CaCO_3$ erfolgt eine Oxydation des Mangans im Boden und

damit wird die Verfügbarkeit des Mangans verringert (BERGMANN et al., 1971; HOSSNER und BLANCHAR, 1970; SIMAN et al., 1971; GUPTA und CHIPMAN, 1970; EATON und JOHN, 1971; sowie TRUONG et al., 1971).
Nach GUPTA (1972), HODGSON (1963), PAGE (1962) sowie DEB und SCHEFFER (1970) ist die Manganverfügbarkeit von der Bodenreaktion mehr abhängig als von allen anderen Faktoren des Bodens. Hemmung der Transpiration durch höhere Luftfeuchtigkeit wirkt negativ auf die Mn-Aufnahme (BEER, 1969).
PEASLEE und FRINK (1969) beobachtete, dass durch Zugabe von H_2SiO_3 zu einem sauren (pH 4,6) feinsandigen Lehmboden die Aufnahme von Mn und Al durch Tomatenpflanzen vermindert wurde.
PEASLEE und FRINK (1969) zitiert nach JONES und HANDRECK (1967), geben dafür folgende Erklärung:
Durch Zugabe von H_2SiO_3 wird die Menge der extrahierbaren Phosphate erhöht. Durch Zunahme der P-Löslichkeit wird die Al-Aktivität verringert. Wenn dasselbe bei Mn geschieht, dann muss die Mn-Verfügbarkeit im Boden bzw. der Mn-Gehalt der Pflanze durch H_2SiO_3-Zugabe herabgesetzt werden. Die Cu- und Zn-Aufnahme im Gewebe bleiben jedoch unbeeinflusst.

Nach WHITE (1970) wurde die Mn-Verfügbarkeit und das extrahierbare Mn des Bodens und der Mn-Gehalt des Pflanzengewebes bei einer Erbsen-, zwei Bohnen- und zwei Gerstensorten durch Kalkung deutlich reduziert. Zu gleichen Ergebnissen kam auch BEER (1970). COTTER (1968) fand, dass durch Zusatz von organischer Substanz zum Boden der Gehalt an austauschbarem Mn anstieg.

Das Redox-Potential charakterisiert die oxydierenden und reduzierenden Eigenschaften eines Bodens (SCHACHTSCHABEL,1955). Je niedriger das Redox-Potential eines Bodens ist, desto stärker sind seine Reduktionseigenschaften. Mit abnehmender Durchlüftung und zunehmender Bodenfeuchtigkeit sowie mit niedrigerem pH-Wert sinkt das Redox-Potential ab. In diesem Falle wird Mn^{4+} zu Mn^{2+} reduziert, das Umgekehrte geschieht bei höherem Redox-Potential.
PRABHAKARAN und COTTENIE (1971) zeigten, dass sowohl die gesamten als auch die extrahierbaren Gehalte an Zn, Al, Cu, Mn, Pb und Fe vorwiegend in den Ton- oder in den Schluff-Fraktionen gebunden sind. Weiterhin führte die statistische Untersuchung zu dem Schluss, dass amorphes Fe-Oxyd wesentliche Mengen an Spurenelementen zu binden vermag. Über die Ionenkonkurrenz zwischen Mn und Eisen bei der Aufnahme durch die Wurzel haben ASO et al. (1968) berichtet.

3. Das Kupfer

Der Gehalt des Bodens am Gesamtkupfer liegt bei 2-100 ppm (CHAPMAN, 1966). Der Gehalt ist jedoch vom Bodentyp und von seiner mechanischen Zusammensetzung abhängig. Nach CZUBA et al. (1970) ist der Gehalt an Cu, Mo und Mn in Alluvialböden am höchsten.
Die Verfügbarkeit auch des Kupfers für die höhere Pflanze ist von verschiedenen Faktoren abhängig.
Der pH-Wert spielt für Cu eine ähnliche Rolle wie für Fe, Mn, Zn, B und Co; mit steigender Bodenreaktion wird also die Verfügbarkeit des Kupfers im Boden verschlechtert, wenn auch

nicht in gleichem Maße wie bei Mn und Fe (DOLAR und KEENEY,1971; KICK, 1969; SCHÄFER,1969).
Zwischen dem Humusgehalt des Bodens und Cu-Festlegung besteht ein enger Zusammenhang (GUPTA, 1971; BERGMANN, 1972). Ein starker Einfluss von Huminsäure auf die Cu-Fixierung wird von DAVIES et al. (1969) angenommen, ebenfalls von SZALAY und SZILAGYI (1968). Die Cu-Festlegung wirkt der Auswaschung entgegen und kann für eine nachhaltige Düngerwirkung von Bedeutung sein.
CHAPMAN (1966) zeigte, dass auf Böden, die stark mit N und P gedüngt wurden, Cu-Mangel in verstärktem Umfang auftrat. Über die Wechselwirkung (Ionenkonkurrenz) zwischen Kupfer und anderen Nährstoffen haben zahlreiche Autoren berichtet, so z.B. BORCHMANN et al. (1971) für Cu und N, BEYME (1971) für Cu und Zn.

4. Das Eisen

Das Eisen kann im Boden in verschiedenen Formen und Verbindungen vorkommen. Wahrscheinlich wird nur das zweiwertige Eisen von den Pflanzen aufgenommen. Als Ion liegt das dreiwertige Eisen im Boden kaum vor, meist als schwerlösliches Eisenhydroxyd $Fe(OH)_3$ oder $FePO_4$. In diesem Falle ist das Eisen für die höhere Pflanze schwer aufnehmbar. Das Eisen kann aber auch in bestimmten pH-Bereichen durch Silikate, Bicarbonate, Oxalate und teilweise auch durch Phosphate im Boden ausgefällt bzw. festgelegt werden (MOAWAD, 1968). Die Verfügbarkeit des Eisen für die höhere Pflanze ist wie die des Mangans von einer Reihe von Faktoren abhängig.

Häufig ist ein Fe-Mangel auf sauren Böden, z.B. auf Hochmoorböden mit einem pH-Wert von 3,5 oder niedriger zu beobachten. In diesem Falle wird Fe vermutlich als Fe-Al-Phosphat festgelegt. Der Fe-Mangel ist also von der Bodenreaktion stark beeinflusst (BROWN und AMBLER, 1970; sowie COLLINS und BUOL, 1970). Böden mit einem hohen Gehalt an CaO oder $CaCO_3$ sowie an Dolomit zeigen meist Fe-Mangelerscheinungen, da das Fe in diesem Falle möglicherweise als Fe-Ca-Phosphat in schwer löslicher Form vorliegt. Stauende Nässe begünstigt die Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+}, während auf gut durchlüfteten Böden die Oxidation von Fe^{2+} zu Fe^{3+} gefördert wird. Das Redox-Potential ist von pH-Wert, Durchlüftung und Feuchtigkeit des Bodens abhängig. Hohe pH-Werte und gute Bodendurchlüftung erhöhen das Redox-Potential und begünstigen damit die Oxidation von Fe^{2+} zu Fe^{3+}. In diesem Falle fällt Eisen überwiegend als $Fe(OH)_3$ aus und wird damit für die höhere Pflanze unverfügbar (JACOBSON und OERTLI, 1956).
WALLACE et al. (1955) fanden, dass auch hohe Temperaturen zur Fe-Fixierung führen. In diesem Falle fällt das Eisen als $Fe(OH)_3$ oder als Eisenkarbonat aus.
Zwischen Fe einerseits und Cu, Zn, Mn, P, Ni und Co andererseits bestehen Ionenkonkurrenzen (ELLIOT, 1969). Sie sind für die höhere Pflanze nicht ohne Bedeutung und müssen bei der Düngung berücksichtigt werden. Über die Festlegung von Fe durch Huminsäure hat WIECHMANN (1970) berichtet.

III. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Zn, Mn, Cu und Fe.

Auf den Einfluss der P-Ernährung bzw. P-Düngung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Mikronährstoffen wurde absichtlich bei der Behandlung der Faktoren, die die Verfügbarkeit von Mikronährstoffen für die höhere Pflanze beeinflussen, nicht eingegangen. Es soll im Nachfolgenden ausführlich darüber gesprochen werden.

1. Stand der bisherigen Erkenntnisse:

Von besonderer Bedeutung erscheinen Untersuchungen von BINGHAM et al. (1958) über den Einfluss steigender Gaben von Monocalciumphosphat ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ - 0, 85, 440, 1000, 2000 kg/ha P_2O_5) auf das Wachstum von Citruspflanzen und ihren Gehalt an Mikronährstoffen zu sein. In diese Versuche wurden 9 bisher unkultivierte kalifornische Böden (pH 4,4-7,4) einbezogen, die arm an nativem P und von unterschiedlichem Gesamtgehalt an Spurenelementen waren (B 1-28, Cu 3-30, Zn 29-110, Mn 100-1220 ppm). Nach 2 monatiger Lagerung des Phosphats mit dem Boden wurde die Bepflanzung mit Citrus in Gefäßen vorgenommen, und nach 6 monatiger Kulturzeit wurden Blatt- und Bodenanalysen durchgeführt. Mit steigender P-Düngung nahm der Gehalt der Pflanzen an B um ca. 40%, an Cu sehr stark, an Zn weniger stark ab, an Mn um das 2-3 fache zu. Es wird vermutet, dass nicht Bodenreaktion und Ca-Gehalt des P-gedüngten Bodens primär die Absorption der Spurenelemente bestimmen, sondern, dass die P-Düngung Cu und Zn als relativ unlösliche

Phosphate festgelegt und Mn in lösliche Phosphate überführt. Untersuchungen von SPENCER (1960) ergaben, dass bei Superphosphatdüngung eine Zunahme der P-, Fa-, Zn- und Mn-Aufnahme bei Citruspflanzen erfolgte, dass jedoch die K-, Mg-, Fe-, Cu-, B- und Al-Aufnahme vermindert wurde.
Bei Kalkung nahm die Ca-, Fe-, und P-Aufnahme zu, die K-, N-, Mn-, Zn und Al-Aufnahme aber ab. Es zeigte sichm dass der Mn-Gehalt der Blätter hauptsächlich vom pH-Wert des Bodens abhängig war. Er nahm bei Superhosphat-Düngung und bei Kalkung ab. Im Gegensatz zum Mn stieg der Fe-Gehalt der Blätter bei Kalkung leicht an. Die Cu-Aufnahme wurde durch beide Düngemittel (Superphosphat und Kalk) vermindert. Sowohl Superphosphatdüngung als auch Kalkung senkten den Zn-Gehalt der Wurzel und verminderten das Zn-Wurzel:Zn-Blatt-Verhältnis.

Sehr aufschlussreich sind auch Untersuchungen von BINGHAM und GARBER (1960):
In einem 8 monatigen-Gefäßversuch mit citrus-aurantium als Indikatorpflanze erhielten 19 verschiedene Böden (pH-Werte zwischen 4,3-8,2) steigende P-Gaben in Form von $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (0-ca. 1000 kg P_2O_5/ha). Die B-Aufnahme wurde durch die P-Düngung besonders stark auf sauren Böden gehemmt, aber auch die Zn-Aufnahme wurde unabhängig vom pH-Wert des Bodens gesenkt. Die Mn-Aufnahme stieg mit Abnahme des pH-Wertes deutlich an,weniger stark wurde die Fe-Aufnahme mit Abnahme des pH Wertes erhöht. Die Cu-Aufnahme wurde sehr stark beeinträchtigt vor allem in den sauren Böden, so dass Cu-Mangelerscheinungen auftraten. Die P-Aufnahme wurde mit steigenden P-Gaben auf

alkalischen Böden weniger stark gesteigert als auf sauren. In einem zweiten Gefäßversuch mit 3 Böden (stark sauer, sauer, schwach alkalisch) wurde festgestellt, dass bei Steigerung unterschiedlicher P-Formen ($Ca(H_2PO_4)_2$, H_3PO_4, KH_2PO_4 und $NH_4H_2PO_4$) hinsichtlich der P-Aufnahme nur geringe Unterschiede auftraten.

JELENIC und DZAMIC (1972) untersuchten den Einfluss von verschiedenen Phosphatdüngern auf den Gehalt an Mn, Cu und Fe in den Blättern von ausdauerndem Weidegras (Lolium perenne) auf sauren und neutralen Böden. Sie fanden, dass auf Podsol durch Steigerung der P-Düngung der Mn-Gehalt erhöht wurde, während er auf Tschernosem sank. Der Cu-Gehalt war auf allen 3 Böden (Tschernosem, Podsol, Pseudogley) bei der P_o-Gabe am höchsten und wurde mit der P-Steigerung unregelmäßig verringert. Der Fe-Gehalt stieg bei den niedrigen P-Stufen an, bei der höchsten Stufe (160 kg/ha P_2O_5) fiel er wieder ab.

a. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Zink.

Untersuchungen von GÄRTEL (1968) zeigten, dass die P-Überdüngung zu schweren Schädigungen bei Reben führt, nämlich zur Schwachwüchsigkeit und in extremen Fällen zur Ertragslosigkeit. Dabei soll der P-Überschuss im Boden in Form von Thomasphosphat nicht selbst toxisch wirken, sondern auf dem Umweg über eine Blockierung der Zn-Aufnahme schädigen: "Die Art, in der dies geschieht, ist bisher noch nicht geklärt. Man nimmt heute folgende 3 Möglichkeiten an:

1. Das Zn wird durch im Überschuss im Boden vorhandene Phosphationen als schwerlösliches und daher durch die Wurzel unaufnehmbares Zn-Phosphat im Boden gefällt.
2. Die Pflanze wird durch das im Boden im Überschuss vorhandene Phosphat überschwemmt, welches das Zink in den Geweben als Zn-Phosphat inaktiviert.
3. In phosphatreichem Boden werden die Wurzeln von einer dichten Schicht Phosphationen umgeben; herandiffundierende Zn-Ionen werden sogleich als Zn-Phosphat gefällt und gelangen nicht mehr an die Gewebe, in denen die Aufnahme in die Pflanze erfolgt und von wo aus sie wieder verfrachtet werden" (GÄRTEL, 1968).

ROSCOE et al. (1964) fanden, dass zwischen P- und Zn-Konzentrationen in der Pflanze eine negative Beziehung besteht. In Gefäßversuchen wurde bei 437-655 pounds P/acre" als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$) der Zn-Gehalt von Bohnen und Mais verringert. PARIBOK (1970) vertritt die Auffassung, dass die P- Zn-Wechselwirkung physiologische Ursachen haben muss. Auch STUKENHOLTZ et al. (1966) berichten, dass die Wechselwirkung zwischen P und Zn nicht auf einer Zn-Festlegung durch P im Boden beruht, sondern physiologischer Natur ist. Der Zn-Transport an die Wurzel oder in der Wurzel soll durch P behindert werden. Ebenfalls die Zn-Translokation von der Wurzel in den Sproß soll durch hohe P-Gehalte in der Pflanze erschwert werden. Die Autoren sind weiterhin der Ansicht, dass steigende K-Gehalte in der Nährlösung die fixierende P-Wirkung auf Zn ver-

hindern. Durch Erhöhung der P-Gabe wurde der Transport von Zn aus den Wurzeln in die oberirdischen Pflanzenteile gehemmt, so dass der Zn-Gehalt der Nodien und Internodien verringert wurde. BOAWN und LEGGETT (1964) fanden, dass durch starke P-Düngung in Form von Superphosphat eine Wachstumsdepression bei Kartoffeln verursacht wurde und Mißbildungen eintraten, die durch Zn-Düngemittel beseitigt werden konnten. Die Autoren geben für gesunde Pflanzen ein P-Zn-Verhältnis von 400 an. Bereits 1936 wies HAAS darauf hin, dass die marmorierten Blätter bei Citruspflanzen höhere prozentische Gehalte an P als Blätter von gesunden Pflanzen enthielten. REUTHER und CRAWFORD (1946) vermuteten, dass in einigen Fällen Düngung mit Superphosphat den Zn-Mangel bei Citruspflanzen verursacht hat. Ähnliche Wirkungen sind von BINGHAM und MARTIN (1956) bei Sojabohnen- und Citruspflanzen und von BURLESON et al. (1961) bei Mais-, Tomaten- und Bohnenpflanzen beobachtet worden. Gegenteilige Ergebnisse liegen von BOAWN et al. (1954) vor. Sie fanden, dass P-Gaben von 200 pounds P_2O_5 per acre in Form von Superphosphat bei Bohnen keine Wirkung auf die Zn-Aufnahme oder das Auftreten von Zn-Mangel hatte. Untersuchungen von TERMAN et al. (1966) zeigten, dass mit Steigerung der P-Verfügbarkeit im Boden die Zn-Aufnahme bei Mais vermindert wurde. Ähnliches wurde bei der Zn-Translokation beobachtet. Die Untersuchungen zeigten weiter, dass mit Steigerung der P-Verfügbarkeit der pH-Wert erhöht wurde, die Zn-Löslichkeit im Boden abnahm und damit die Zn-Verfügbarkeit für die höhere Pflanze geringer wurde. Die Autoren nahmen deshalb an, dass bei Steigerung der P-Konzentration im Boden der Zn-Gehalt der Pflanze immer verringert wird. MILLIKAN (1963) fand in Wasserkulturversuchen, dass bei

Zn-Gehalten von weniger als 0,01 ppm in der Nährlösung bei allen geprüften Sorten von Trifolium subterraneum Zn-Mangelsymptome auftraten, die durch Steigerung der P-Gaben (7,5, 15, 30, 45, 60, 90, 120 ppm P als $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$) verstärkt wurden.
Der kritische Zn-Gehalt wird in starkem Maße vom Alter der Pflanze und von der P-Konzentration der Nährlösung bestimmt. Zu dieser Auffassung kommen FORTINI u. MORANI (1961) bei Versuchen über die Zn-Aufnahme von Kartoffel- und Spinatpflanzen in Abhängigkeit von der Höhe der P-Düngung ($Ca(H_2PO_4)_2$) und dem Alter der Pflanzen. In einem Feldversuch auf kiesig-tonigem Boden vulkanischen Ursprungs führte eine Erhöhung der P-Düngung zu einer Verringerung des Zn-Gehaltes der Blätter reifer Kartoffelpflanzen. Bei Spinat erhöhte Zn-Düngung den P-Gehalt älterer Blätter (Blühbeginn).

ERNST (1968) zog in Wasserkulturversuchen "Schwermetallpflanzen" wie Silene cucubalis var humilis (Traubenkropf), Thlaspi alpestre ssp.calaminare (Pfennigkraut), Ameria maritima ssp. Cardaminopsis halleri (Sandgänsekraut) an. Lag das Zink in Form vin $ZnSO_4$ vor, so nahm der Zn-Gehalt der Sprosse mit zunehmender P-Konzentration in der Nährlösung ab. Bei der Verwendung von Zn-Chelat (Na_2Zn-EDTA) trat diese negative Korrelation jedoch nicht auf. Die Verträglichkeit gegenüber den beiden Zn-Formen war unterschiedlich; z.B. wirkten bei Traubenkropf 100 mg Zn/L in ionogener Form im Verlauf einer Vegetationsperiode toxisch, dagegen wurden in Chelatform noch 600 mg Zn/L vertragen. Das hängt damit

zusammen, dass die Aufnahme von Zn aus Zn-Sulfat beträchtlich höher war als aus Zn-Chelat. HALIM et al. (1968) fanden bei ihren Untersuchungen "in Klimakammern in Sand mit Hoaglandlösung mit 2 mM $ZnSO_4$ und 2 P-Stufen (1 und 10 mM KH_2PO_4)", dass die hohe P-Gabe den Zn-Gehalt der Blätter (Mais) nicht zu verringern scheint. Sie beeinflusst ihn (Zn-Gehalt) von Sorte zu Sorte verschieden. Sie hemmt aber meist das Wachstum.

In Gefäßversuchen mit Zn- und P-Mangelböden unter Zusatz von 0-400 ppm P als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ und 0-25 ppm Zn wurden Ertrag, Zn- und P-Gehalt in Sproß und Wurzel von 6 und 8 Wochen alten Tomaten- und Maispflanzen von SHARMA et al. (1968,a) bestimmt. Sie fanden, dass Mais auf Zn-Mangel stärker als Tomaten reagierte. In Anwesenheit von P nahm das Sproßwachstum bei Mais bis zu 5 ppm, bei Tomaten bis zu 1 ppm Zn im Boden zu. Die Zn-Wirkung auf das Wurzelwachstum war geringer. P-Düngung senkte die Zn-Konzentration im Sproß stets mehr als in der Wurzel und hatte kaum Einfluss auf die Zn-Aufnahme durch die Wurzel. Die P-Düngung beeinflusste somit in erster Linie die Zn-Translokation innerhalb der Pflanze aus der Wurzel in den Sproß. Aber auch die P-Konzentration in der Pflanze wurde durch Zn-Gaben verringert, am stärksten in der höchsten P-Stufe und zwar beim Sproß mehr als in der Wurzel.
SHARMA et al. (1968, b) zeigten weiterhin, dass in zwei Zwergweizensorten die Zn-Konzentration in der Pflanze durch P-Düngung mit $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ stark erniedrigt wurde. Dieser

Befund wurde auch von TERMAN et al. (1966) bei Mais nachgewiesen. Von PAULI et al. (1968) wurden in Klimakammerversuchen Zn^{65}, P^{32} und $CaCO_3$ zu Bohnenpflanzen, in verschiedenen Kombinationen verabreicht. Danach wurden Ertrag, Zn- und P-Gehalt in Blattspreiten, Stengeln und Wurzeln der 7 Wochen alten Pflanzen, sowie wasserlösliches Zn und P im Sandmedium bestimmt. $CaCO_3$ senkte Trockengewicht und Zn-Konzentration in Blättern und Stengeln mehr als in den Wurzeln, der Zn-Gehalt der Blätter ging bis auf 1/10 zurück. $CaCO_3$ hemmte also die Zn-Translokation innerhalb der Pflanze, förderte dagegen die von P aus den Wurzeln in den Sproß und beeinflusste so die Beweglichkeit und das P/Zn -Verhältnis in der Pflanze. P-Düngung ohne $CaCO_3$ erhöhte den Zn-Gehalt der Wurzel weitaus stärker als den der Blätter. Im Sandmedium sank durch P-Düngung der Gehalt an wasserlöslichem Zink, durch $CaCO_3$ derjenige an wasserlöslichem Zn und P.

BOAWN und RASMUSSEN (1969) fanden, dass durch Erhöhung des P-Angebots (0, 28, 56, 112, 224 kg/ha als Monocalciumphosphat) die Zn-Konzentration in Blatt- und Doldengeweben von Reben drastisch vermindert wurde, jedoch ohne sichtbare Zn-Mangelerscheinungen. KHAN (1968) konnte in Vegetationsversuchen unter Glas bei Reis und Mais nachweisen, dass nach P(0, 400, 800, 1000 lbs P/acre als Monocalciumphosphat) und $CaCO_3$-Düngung Zn-Mangelchlorosen auftraten. Bodenanalysen ergaben eine Verminderung des extrahierbaren Zn nach P und $CaCO_3$-Düngung des überfluteten Reisbodens. PROHASZKA und CSERNIE (1970) fanden, dass bei steigenden P-Gaben der Gehalt der Körner von Mais an Mn stieg, der an Zn dagegen sich

parallel mit der Erhöhung der P-Gaben verminderte. Der Cu-Gehalt der Maiskörner wurde durch die Steigerung der P-Gaben nicht beeinflusst. SELEVCOVA (1970) berichtete über mehrjährige Düngungsversuche mit Superphosphat, in denen mit steigendem Gehalt an löslichem P der Gehalt an verfügbarem Zn im Boden herabgesetzt wurde. Die Zn-Aufnahme durch Winterroggen verringerte sich ebenfalls, jedoch war die Wirkung der P-Düngung auf den Gehalt an verfügbarem Zn im Boden wesentlich größer als auf die Zn-Aufnahme durch die Pflanzen. MOKRIEVIC und JAROVOJ (1970) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher P-Gaben auf die Verfügbarkeit des Zn in karbonathaltiger Schwarzerde. Je kg Boden wurden 5 mg Zn als $ZnSO_4$ und 0, 2, 10 und 20 mg P_2O_5 als Superphosphat gedüngt. Die Umsetzung der Düngemittel erfolgte über verschiedene Zeitabschnitte bei 25°C und 60% der Wasserkapazität. Mit steigender P-Düngung und zunehmender Inkubationsdauer kam es im Boden, vermutlich infolge der Bildung von schwerlöslichem $Zn_3(PO_4)_2$, zu einer Herabsetzung des Gehaltes an verfügbarem Zn, und mit steigenden P-Gaben wurde der Zn-Gehalt der Pflanze drastisch verringert. SINGH und DARTIGUES (1970) untersuchten die Wirkung von zwei Phosphatformen, Polyphosphat und Orthophosphat auf zwei Zn-bedürftigen Böden bei unterschiedlichem P-Gehalt. Bei beiden Böden war die Wirkung des Polyphosphats auf die Trockensubstanzbildung von Mais der des Diammoniumphosphats überlegen. Dies scheint seine Ursache hauptsächlich in der unterschiedlichen Reaktion der beiden Phosphatformen mit dem Bodenzink zu haben. Die Anwesenheit von Polyphosphat im Boden führte

zu verfügbaren Zn-P-Verbindungen. Demgegenüber verminderte Diammoniumphosphat die Verfügbarkeit von Bodenzink, was sich auch in einer verminderten Trockensubstanzproduktion widerspiegelt. Eine negative Korrelation zwischen Zn-Gabe und P-Konzentration in der Pflanze wurde nachgewiesen. In einem Wasserkulturversuch zeige PARIBOK (1970), dass durch Steigerung der P-Konzentration bei einem Zn-Gehalt von 16-20 ppm in den oberirdischen Pflanzenteilen Zn-Mangelsymptome in Tomatenpflanzen und den Erbsen eintraten, wobei die P-Konzentration in den Pflanzen sich um das 1,5-2,5 fache erhöhte, im Vergleich zu den mit Zn ausreichend versorgten Pflanzen. Zn-Mangel führte auch zur verstärkten Aufnahme von anderen Mikro-Nährstoffen wie Fe, Cu und Mo.

AMBLER und BROWN (1969) stellten in Wasserkulturversuchen fest, dass Zn-Mangel bei zwei Sorten weisser Bohnen durch ein erhöhtes Angebot an Fe und P (1,5 und 6,0 mg/LP) verstärkt wurde. WALLACE et al. (1969) konnten feststellen, dass zwischen P- und Zn-Gehalt bei vier verschiedenen Kulturpflanzen (Mais, Baumwolle, Sau- und Buschbohnen) eine schwache negative Wechselwirkung besteht. Es wurde nämlich beobachtet, dass der P-Gehalt von Bohnenpflanzen mit Zunahme der Bodentemperatur erhöht wurde, und damit der Zn-Gehalt herabgesetzt wurde. Eine hohe negative Korrelation zwischen P- und Zn-Aufnahme von Maispflanzen wurde von GIORDANO et al. (1966) festgestellt. Über die Phosphat-Zink-Konkurrenz bei der Aufnahme haben zahlreiche weitere Autoren berichtet oder darauf hingewiesen, so z.B. BURLESON et al. 1961; PAULSEN und ROTIMI, 1968; GANIRON et al. 1969; BROWN et al. 1970).

b. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Mangan

BINGHAM (1963) fand, dass Bohnen mit steigendem P-Angebot (1, 10, 100 ppm P als H_3PO_4) in einem Sandkulturversuch eine höhere Mn-Aufnahme aufwiesen, Mais und Tomaten dagegen eine niedrigere. HEINTZE (1968) stellte fest, dass Manganphosphate im Bereich zwischen pH 6,5 - 9,0 nahezu vollständig ausgefällt werden. Gehalte an toxisch wirkendem Mangan im Boden können deshalb durch eine Düngung mit Dicalciumphosphat (DCP) herabgesetzt werden. Auf neutral bis alkalisch reagierenden Böden kann dagegen die Mn-Verfügbarkeit durch Düngung mit DCP nicht erhöht werden. In Gefäßversuchen führte eine DCP-Düngung auf diesen Böden zu einer Abnahme des Mn-Gehaltes und des Kornertrags von Hafer.
LARSEN (1964) untersuchte den Einfluss einer Phosphatdüngung auf den Mn-Gehalt von Pflanzen in neutralen und alkalischen Böden und zwar wurden vier Feldversuche, zwei mit Hafer und zwei mit Zuckerrüben auf solchen Böden durchgeführt, auf denen schon Mn-Mangelerscheinungen bei diesen Pflanzen beobachtet worden waren. In jedem Falle wurde gekörntes Triple-Phosphat bis zu 3580 kg/ha gesteigert, kombiniert mit wiederholten Spritzungen von $MnSO_4$(2-3 mal, jeweils 11 kg/ha) Übereinstimmend zeigte sich bei allen Versuchen eine Erhöhung des Mn-Gehaltes der Blätter durch die P-Düngung. Dagegen erhöhte die Mn-Applikation über das Blatt den Mn-Gehalt der Blätter nicht oder nur sehr gering.
Nach LINDSAY (1959) sowie nach LINDSAY und STEPHENSON (1959) wird durch die Düngung mit Superphosphat der pH-Wert des

Bodens herabgesetzt und damit die Mn-Löslichkeit im Boden erhöht, so dass Mn für die höhere Pflanze zugänglich wird. Dieser Umstand kann für die Versorgung der Pflanzen auf neutral bis alkalisch reagierenden Böden von großer Wichtigkeit sein (BINGHAM und GARBER, 1960). Auch zahlreiche andere Autoren beobachteten, dass durch die Düngung mit Phosphatdüngemittel, die im Boden physiologisch sauer reagieren, das austauschbare oder das wasserlösliche Mn deutlich zunimmt, so z.B. PAGE (1962) und PAGE et al. (1962, 1963), SNIDER (1943), MORRIS (1948), STECKEL et al. (1948), REUTHER et al. (1949, 1958), SPENSER (1960), MESSING (1965), ELLIOT (1969).
HEINTZE (1968) untersuchte die Wirkung von Monocalciumphosphat-Gaben auf die Verfügbarkeit von Mn für Hafer auf einem alkalischen Niederungsmoorboden. Er fand, dass die P-Gaben nur einen geringen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens und auf das austauschbare und leicht reduzierbare Mn hatten.

HOSSNER und RICHARDS (1968) haben den Einfluss der P-Form auf Beweglichkeit und Aufnahme von bandartig ausgebrachtem Mn untersucht. Sie stellten fest, dass die Mn-Aufnahme von Saubohnen durch P in absteigender Reihe Monoammoniumphosphat=Ammoniumpolyphosphat Monocalciumphosphat=Diammoniumphosphat erhöht wurde. Die Mn-Beweglichkeit im Boden nahm unter der Wirkung der P-Form in der Reihenfolge APP MAP MCP DAP ab. Bei pH-Werten über 5,8 wurde keine Ausbreitung des Mn festgestellt.

c. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Cu.

SCHÄFER und KICK (1970) untersuchten in einem Feldversuch die Nachwirkung von schwermetallhaltigem Abwasserklärschlamm auf die Versorgung von Haferpflanzen mit Mikronährstoffen. Sie fanden, dass Schlammgaben bis zu 1500 m^3/ha, die als nachteilig angesehen werden dürften, nicht zu einer Erhöhung der Cu- und Zn-Gehalte führten. Weil der Schlamm selber ziemlich hohe Phosphatmengen enthält und einen pH-Wert von 7,7 aufweist, dürfte es zur Bildung schwer löslicher Verbindungen mit Cu und Zn kommen, die für die Pflanze weitgehend unverfügbar sind. KOCK et al. (1971) untersuchten den Einfluss von N-Düngung und von steigenden P-Gaben (0-1200 ppm P_2O_5 als $KH_2PO_4 \cdot H_2O$) auf die Versorgung der Haferpflanze mit Kupfer in Gefäßversuchen auf Cu-armen Hochmoorböden. Die nicht mit Cu gedüngten Pflanzen zeigten Cu-Mangelerscheinungen und gelangten nicht zum Rispenschieben. Durch die alleinige Zufuhr von $N(Cu_oN_1P_o)$ oder $P(Cu_oN_oP_1)$ wurde der Cu-Mangel drastisch verstärkt. Zur Zeit der Reife war diese Wirkung noch deutlicher. Weder die Düngung mit N noch mit P führte aber zu einer Verminderung der Cu-Verfügbarkeit oder zu einer Verringerung der Cu-Aufnahme. Nach 4 Wochen hatte der Hafer bei $(Cu_oN_oP_o)$ und bei $(Cu_oN_1P_1)$ gleiche Mengen Cu aufgenommen. Zur Zeit der Ernte war ein negativer Einfluss der P-Düngung auf den Cu-Gehalt erkennbar. Der niedrigste Cu-Gehalt wurde bei $(Cu_1N_1P_1)$ beobachtet. Die Cu-Düngung setzte den N-Gehalt erheblich herab. Der P-Gehalt variierte stark mit der Düngung. Der

Versuch bestätigte den negativen Einfluss einer N- und P-Düngung auf das Wachstum von Hafer bei Cu-Mangel. Durch die Verstärkung des Haferwachstums induzierten N und P einen erhöhten Cu-Bedarf. Daneben führten die Verfasser die negative Wirkung der N- und P-Düngung auf die Bildung von Cu-Proteinkomplexen zurück, die das Cu in der Pflanze blockieren und eventuell die Proteinsynthese beeinflussen.
Bei Versuchen von EBERT et al. (1971) wiesen die Ernteprodukte, die mit Thomasphosphat gedüngt waren, einen niedrigeren Gehalt an Mikronährstoffen auf als die mit Superphosphat gedüngten. Die Autoren vermuten, dass diese niedrigen Gehalte auf die Veränderung der pH-Werte bei mehrjähriger Anwendung von Thomasphosphat zurückzuführen sind. Es wurde auch beobachtet, dass diese Wikrung bei Böden mit niedrigem pH-Wert und geringer Pufferkapazität stärker zum Ausdruck kam als bei Böden mit höherem pH-Wert und besserer Pufferkapazität.
GREENWOOD und HALLWORTH (1960) untersuchten einige Wechselwirkungen von Ca, Cu, Mo und P (8, 40, 80 ppm P als $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$) auf das Wachstum von Trifolium subterraneum und seine Gehalte an den genannten Elementen und die chemische Zusammensetzung. Sie fanden, dass hohe P-Konzentrationen der Nährlösung toxisch wirkten. Es zeigte sich, dass zwischen P und Cu bzw. zwischen Ca und Cu eine Wechselwirkung bestand. Bei hoher Cu-Konzentration wurde die P-Aufnahme verringert und damit der Ertrag gesenkt. Wenn P in gemäßigt niedriger Konzentration verabreicht wurde, so wurde die Mo-Aufnahme erhöht. Dieser Befund wurde auch von STOUT et al. (1951) bestätigt. Wenn Cu als begrenzender Faktor

auftrat, wurde die Cu-Aufnahme durch gemäßigte P-Düngung erhöht (siehe auch BINGHAM und GARBER, 1960; BINGHAM, 1963; BINGHAM und MARTIN, 1956).
SPENCER (1966) stellte in einem Sandkulturversuch fest, dass zwischen P und Cu eine Wechselwirkung besteht, indem hohe P-Gaben (750 ppm) als Mischung von Mono- und Dicalciumphosphat im Verhältnis von 1:9 zur Hemmung der Fe- und Cu-Aufnahme bei Citruskeimlingen führten. Hohe Cu-Dosierungen verminderten wiederum den P- und Fe-Gehalt der Blätter. Ähnliche Beobachtungen wurden auch von MURAVIN und ZURAVLEVA (1970) getroffen.

d. Der Einfluss der Phosphaternährung auf die Versorgung der höheren Pflanze mit Eisen

Von DONEY et al. (1960) wurden Sämlinge einer chloroseresistenten Mais-Sorte und einer chloroseempfindlichen Buschbohnen-Sorte 15 Tage lang in Nährlösung kultiviert; während der letzten drei Tage wurden HCO_3-Gehalte (0, 10, 20 mval/l als $NaHCO_3$), P-Gehalte (0,003 und 3 mval/l als $NH_4H_2PO_4$) und pH-Werte (7,1, 7,7, 8,3) variiert. Am letzten Tag wurden die Pflanzen an vergleichbaren Blattstellen je einmal mit einer bekannten Menge ^{59}Fe-markierter $FeCl_3$-Lösung benetzt. Die Steigerung der HCO_3- und P-Gehalte sowie des pH-Wertes in der Nährlösung hatten fast durchweg eine erhöhte Beweglichkeit von ^{59}Fe aus dem behandelten Blatt in die übrigen Pflanzenteile zur Folge.
Bei den Buschbohnen nahm dabei in allen Fällen mit dem Ansteigen der genannten Faktoren der Gehalt an ^{59}Fe nur in den transportierenden Organen (behandeltes Blatt, unterer und

oberer Stengelteil) zu, während er in den peripheren Pflanzenteilen (Wurzeln, Keimblättern, Spitzenblättern) abnahm.
Bei den Maispflanzen hingegen nahm mit Steigerung der drei Faktoren der Fe-Gehalt in der gesamten Pflanze, also auch in den peripheren Pflanzenteilen, zu. Bei den niedrigsten Werten aller variablen Faktoren betrug der in den transportierenden Organen verbleibende Anteil am insgesamt bewegten ^{59}Fe 28%, während dieser Anteil bei den höchsten Werten aller drei Variablen auf 40% anstieg. Es zeigte sich also, dass durch Steigerung der P-Düngung Fe inaktiviert bzw. in der Verlagerung gehemmt wird und dass mit Fe-Chlorose hervorgerufen wird.
HOLMES (1960) kultivierte im Wasserkulturversuch mit Kulturheidelbeere Vaccinium corymbosum bewurzelte Stecklinge in Nährlösungen bei konstantem pH-Wert (pH-4) und steigenden P-Konzentrationen (1, 5, 15, 30, 60 ppm P als K_2HPO_4) bzw. konstanter P-Konzentration (20 ppm) und unterschiedlichen pH-Werten (4, 5, 6, 7, 8) bei Zufuhr von 5 ppm Fe als $FeCl_3$ und optimaler Versorgung mit den übrigen Nährstoffen. Durch Steigerung der P-Konzentration bei konstantem pH 4 ließen sich die Mangelerscheinungen (Minderwuchs, Blattverfärbungen) beseitigen - und bei den höchsten P-Konzentrationen Fe-Chlorosen induzieren. Optimales Wachstum trat bei konstanter P-Menge nur bei pH 4 und 5 auf, weitere pH-Steigerungen hatten Minderwuchs und Zunahme der Fe-Chloroseschäden zur Folge. Hohe P-Konzentrationen in den Nährlösungen verringerten die Fe-Löslichkeit, und eine entsprechende Abnahme der Fe-Gehalte und Zunahme der P-Gehalte in den Blättern war erkennbar. Veränderungen der P- und Fe-Gehalte der Blätter

bei konstanter P-Konzentration und steigenden pH-Werten waren weniger ausgeprägt. In den jüngeren Blättern trat bei steigenden pH-Werten, in Folge einer Fe-Inaktivierung in den älteren Blättern, eine deutliche Abnahme des Fe-Gehaltes auf. Eine anschliessende Zufuhr von Fe des Chelats EDDHA (Äthylendiamindihydroxylessigsäure) hatte in allen Fällen, außer bei pH 8, eine völlige Gesundung der Pflanze mit normaler Blüten- und Fruchtbildung zur Folge.

Nach SREE und PRATT (1970) wird Fe in sauer reagierenden Böden, beim Vorhandensein von P, in Form von Fe-Phosphaten festgelegt, und es wird damit für die Pflanzen unverfügbar.

CHRUSLOVA (1966) untersuchte die Verfügbarkeit von $FeCl_3$ und Fe-EDTA für Sommer- und Winterweizenpflanzen, die in modifizierter "Prjanisnikov-Nährlösung" mit unterschiedlichem P-Gehalt kultiviert wurden. Bei hohem P-Gehalt der Nährlösung wiesen mit $FeCl_3$ ernährte Pflanzen Chlorosen auf. Trockenmasse und Katalaseaktivität waren gegenüber den mit geringeren P-Dosen ernährten Pflanzen vermindert. Bei Verwendung von Fe-EDTA als Fe-Quelle traten die genannten Auswirkungen hoher P-Gaben in wesentlich geringerem Ausmass auf. Die Blätter chlorotischer und grüner Pflanzen wiesen nahezu den gleichen Fe-Gehalt auf, in den Wurzeln dagegen war der Fe-Gehalt bei hohem P-Gehalt vermindert. Erhöhung des P-Gehaltes der Nährlösung führt zur Erhöhung des Gehaltes an anorganischem Phosphat. Der Autor meint, dass die Wechselbeziehungen zwischen Fe und P in den Pflanzen nicht restlos geklärt sind. Bei P-Überschuss werden bereits in der Nährlösung Fe-Verbindungen ausgefällt, ferner wird Fe in der Pflanze selbst

ausgefällt. Möglicherweise entstehen in der Wurzel organische Fe-P-Verbindungen, was zu einer Erschwerung der Fe-Translokation in der Pflanze führen könnte.

FORTINI (1962) vertritt die Meinung, dass bei Gemüsepflanzen von einem P-Fe-Antagonismus nicht gesprochen werden könne. In Feldversuchen auf einem kiesig-tonigen Boden vulkanischen Ursprungs (pH 7,3, P_2O_5 72 ppm, aktives Fe 0,45%) wurde bei steigenden Gaben von Monocalciumphosphat der Fe-Gehalt vollentwickelter Tomatenblätter bestimmt. Bei steigenden P-Gaben war ein gewisser Anstieg des Fe-Gehaltes zu verzeichnen. Gefäßversuche von BROWN et al. (1955) zeigten, dass Absorption und Translokation von Fe bei Reispflanzen mit Steigerung der P- und Cu-Gaben verringert wurden. Der Einfluss war am stärksten, wenn beide variable Faktoren P und Cu gleichzeitig erhöht wurden, und zwar P als $(NH_4)_3PO_4$ bei kalkhaltigem Boden (1,2 g P_2O_5/Gefäß) und K_3PO_4 bei organischem Boden (1,0 g P_2O_5/Gefäß).

KOCK und WALLACE (1965) untersuchten den Einfluss eines P-Überschusses auf das Entstehen der Fe-Chlorose. Sie fanden, dass hohe P-Konzentrationen in der Pflanze typische Fe-Mangelchlorosen verursachen. Es zeigte sich, dass die organischen Säuren in den Blättern, die die Absorption und die Verteilung der mineralischen Nährstoffe, besonders K und Ca bedingen, vom Fe/P-Gleichgewicht kontrolliert werden, so enthielt durch Fe-Mangel geschädigtes Gewebe höhere Mengen an Zitronensäure als gesundes Gewebe, da Fe das Enzym Aconitase aktiviert und bei Fe-Mangel der Zitronensäure-Zyklus an dieser Stelle blockiert wird. Die Blattgewebe mit Fe-Chlo-

rosen enthalten demzufolge auch geringere Mengen Äpfelsäure als ungeschädigte Blattgewebe. Da der Äpfelsäuregehalt meist mit dem Ca-Gehalt der Pflanze korreliert, führt die Blockierung der Äpfelsäurebildung bei Fe-Mangel auch zur Verringerung des Ca-Gehaltes der Blätter. Geschädigte Pflanzengewebe zeigten ein höheres K/Ca-Verhältnis (10:1) als ungeschädigte (1,8:1), aber auch ein höheres P/Fe-Verhältnis (130:1) als gesunde Pflanzen (14:1).

SPENCER (1966) fand in einem Sandkulturversuch, dass hohe P-Gaben (750 ppm) als Mischung von MCP und DCP im Verhältnis von 1:9 in der Nährlösung zur Hemmung der Fe- und Cu-Aufnahme bei Citruskeimlingen führten. BROWN und BELL (1969) zeigten, dass die Fe-Aufnahme bei Mais vom Genotyp abhängig ist. Beim Typ Ys wurde durch $CaCO_3$ die P-Aufnahme stärker gefördert als beim Typ Pa 54. Das Führte dazu, dass im Typ Ys die Fe-Aufnahme stärker gehemmt wurde als beim Typ Pa 54 und die Chlorosebildung verstärkt auftrat. BENTLY et al. (1970) stellten bei ihren Untersuchungen über den Einfluss verschiedender P- und Fe-Konzentrationen im Nährmedium auf den Kationen- und Anionengehalt von Hafer fest, dass nur bei dem höchsten P- und dem niedrigsten Fe-Gehalt Chlorose auftrat. Bei der höchsten Fe- und der niedrigsten P-Konzentration in der Nährlösung wurden schwach waohsende Pflanzen beobachtet, der Fe-Gehalt in der Pflanze wurde aber nicht verändert. Auch der Cu-Gehalt der Haferpflanzen wurde nicht beeinflusst.

2. Zusammenfassender Überblick der bisherigen Erkenntnisse:

Aus der Literaturübersicht geht hervor, dass Einflüsse der Phosphaternährung auf die Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen, besonders häufig bei Zn und Fe, seltener beim Cu beobachtet worden sind. Der Einfluss der P-Ernährung auf die Versorgung der höheren Pflanzen mit Mn scheint sich in der Hauptsache über eine Veränderung der Bodenreaktion auszuwirken. So z.B. setzt Monocalciumphosphat den pH-Wert des Bodens herab, und damit wird die Verfügbarkeit des Mangans im Boden erhöht, was sich in einer Erhöhung der Mn-Aufnahme und des Mn-Gehaltes der Pflanzen widerspiegelt. Das Umgekehrte geschieht bei der Düngung mit Dicalciumphosphat, die zu einer Erhöhung des pH-Wertes führen kann. Andererseits übt auch der pH-Wert einen Einfluss auf die Verfügbarkeit des Phosphats im Boden aus und beeinflusst so indirekt die Verfügbarkeit der Mikronährstoffe bis zu einem gewissen Grade.

Bei den übrigen Mikronährstoffen scheinen die Phosphatform und die damit verbundenen Änderungen der Bodenreaktion keine so entscheidende Rolle zu spielen. Eine chemische Bindung dieser Mikronährstoffe im Boden durch Phosphat kann zwar nicht ausgeschlossen werden, aber zahlreiche Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass vor allem bei Zn und Fe die Festlegung physiologischer Natur ist und innerhalb der Pflanze oder beim Eintritt in die Pflanze erfolgt. Auch eine Behinderung der Translokation von der Wurzel in den Sproß wird angenommen. Über die Wechselwirkung zwischen Phosphaternährung und Kupferversorgung der Pflanzen liegen relativ wenige Untersuchungen vor.

B. HAUPTTEIL

I. Versuchsdurchführung und Methodik

Die bisherigen Befunde über den Einfluss der Phosphatdüngung auf die Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen zeigen, dass solche Einflüsse selten bei Bor, häufig dagegen bei den Mikronährstoffen Cu, Zn, Fe und Mn beobachtet wurden. Aus der Literaturübersicht geht hervor, dass die bei einer bestimmten Pflanzenart erhaltenen Ergebnisse nicht unbedingt auch für andere Pflanzenarten Gültigkeit zu haben brauchen. Insbesondere bestehen Unterschiede zwischen ein- und mehrjährigen Pflanzen.

Relativ wenige Untersuchungen zu dieser Frage liegen bisher für monokotyle Pflanzen vor. Es erschien deshalb wichtig zu sein, die Untersuchungen auf diese Pflanzengruppe zu beschränken und hier die Wechselbeziehungen zwischen Phosphatdüngung und Mikronährstoffaufnahme eingehend zu untersuchen. Da der Borbedarf der monokotylen Pflanzen sehr gering und Bormangel bei ihnen praktisch unbekannt ist, beschränken sich die Untersuchungen auf die Mikronährstoffe Cu, Mn, Zn und Fe.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden folgende Versuche angelegt:

1. Drei Keimpflanzenversuche mit Sommergerste unter Kunstlicht
2. Ein Wasserkulturversuch mit Mais
3. Ein Sandkulturversuch mit Mais
4. Ein Gefäßversuch mit Winterweizen auf zwei verschiedenen Böden.

Die Versuche 2,3 und 4 wurden in der Gefäßstation des Institut

für Pflanzenernährung in Giessen durchgeführt.

1. Keimpflanzenversuche in Neubauerschalen

Versuchsfrage: Einfluss steigender Phosphatgaben auf den Gehalt von Gerstenkeimpflanzen an Cu, Mn, Zn und Fe.

Versuchspflanze: Sommergerste "Union"

TKG : 42

Keimfähigkeit : 96%

Aussaatmenge : 100 Körner je Gefäß

Kultursubstrat : 400 g mittelfeiner Quarzsand (0,4-0,7 mm)und 250 g Feinsand als Saatbett.

Grunddüngung je Gefäß:

200 mg $CaCO_3$
20 mg $MgCO_3$
50 mg N als NH_4NO_3
30 mg K_2O als KCL
30 mg K_2O als K_2SO_4
0,5 mg Cu als $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
1,0 mg Mn als $MnSO_4 \cdot H_2O$
1,0 mg Zn als $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$
1,0 mg Fe als $FeCl_3 \cdot 6H_2O$

a. Erster Versuch: Einfluss steigender Gaben von Dicalciumphosphat: 6 Varianten mit je 4 Parallelgefäßen

Versuchsdüngung je Gefäß:

VR 1: 0 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
2: 20 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
3: 60 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
4: 100 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
5: 140 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
6: 180 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)

Aussaat: 4.12.1970
Ernte : 18.12.1970

b. Zweiter Versuch: Erhöhte Gaben von Dicalciumphosphat: 6 Varianten mit je 4 Parallelgefäßen

Versuchsdüngung je Gefäß:

VR 1: 0 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
2: 100 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
3: 300 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
4: 600 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
5: 900 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)
6:1200 mg P_2O_5 als $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ (DCP)

Aussaat: 12.1.1971
Ernte : 28.1.1971

c. Dritter Versuch: Gesteigerte Gaben von Monocalciumphosphat (MCP) 6 Varianten mit je 4 Parallelgefäßen

Versuchsdüngung je Gefäß:

VR 1: 0 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
2: 100 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
3: 300 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
4: 600 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
5: 900 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
6: 1200 mg P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)

Aussaat: 2.3.1971
Ernte : 17.3.1971

Sproße und Wurzeln wurden in den Keimpflanzenversuchen getrennt geerntet. Die Wurzeln wurden durch sorgfältiges Waschen in dest. Wasser von anhaftendem Sand nach Möglichkeit befreit.

2. Wasserkulturversuch

Versuchsfrage: Einfluss steigender Phosphatkonzentrationen in der Nährlösung auf den Gehalt von Maispflanzen an Cu, Mn, Zn und Fe

Versuchspflanze: "Gelber Badischer Landmais"

TKG : 430 g
4 Pflanzen je Wasserkulturgefäß

Kultursubstrat: Entsalztes Wasser

Grundnährlösung für alle Gefäße (nach MOAWAD, 1968):

	10^{-3}	Mol/Liter
1.Gruppe	2,0	NH_4NO_3
	0,5	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$
	4,0	$CaCl_2$
2.Gruppe	2,0	K_2SO_4
	0,3	$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$
	10^{-6}	Mol/Liter
3.Gruppe	14,0	$MnSO_4 \cdot 4\ H_2O$
	1,4	$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$
	1,4	$ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$
	10,0	H_3BO_3
	0,3	$Na_2MoO_4 \cdot 2\ H_2O$
4.Gruppe	20,0	$(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6\ H_2O$

Variationen in der Phosphatkonzentration:

VR 1 : 0,25 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$
2 : 0,75 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$
3 : 1,50 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$
4 : 3,00 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$
5 : 4,50 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$
6 : 6,00 mmol $NaH_2PO_4 \cdot 2\ H_2O$

Die mit der Phosphatkonzentration ansteigenden Na-Konzentrationen wurden durch NaCl ausgeglichen:

VR 1 : 5,75 mmol NaCl
2 : 5,25 mmol NaCl
3 : 4,50 mmol NaCl
4 : 3,00 mmol NaCl
5 : 1,50 mmol NaCl
6 : 0,00 mmol NaCl

Jede Versuchsreihe umfasste 4 Wasserkulturgefäße von 5 Liter Inhalt.
Versuchsbeginn: 22.6.1971 mit der halben Konzentration sämtlicher Nährstoffe. Am 25.6.1971 wurde auf die volle Konzentration erhöht. Wechsel der Nährlösung am 5.7. und am 20.7.1971.

1. Ernte am 8.7.1971 , 1 Gefäß je Variante
2. Ernte am 22.7.1971 , 1 Gefäß je Variante
3. Ernte am 5.8.1971 , 1 Gefäß je Variante

Die Pflanzen für die Wasserkultur wurden in reinem Quarzsand angezogen. Für die Ausbildung gesunder Wurzeln wurden dem Sand geringe Mengen Calcium (Ca-Nitrat) und Bor (Borax) zugesetzt. Bei einer Höhe von etwa 18-25 cm wurden gesunde, gleichmäßig entwickelte Pflanzen in die Wasserkultur-Gefäße umgepflanzt. Die Gefäße sind zylindrisch und bestehen aus schwarz-gefärbtem PVC. Im Deckel befinden sich 4 Öffnungen zum Einsetzen der Pflanzen. Die Pflanzen befanden sich während des Versuchs in einer Vegetationshalle und zwar, um Temperaturschwankungen der Nährlösung zu vermeiden, standen die Wasserkulturgefäße in großen Kühlbecken. Die Gefäße wurde zweimal täglich mittels Preßluft belüftet.

3. Sandkulturversuch (in Mitscherlichgefäßen)

Versuchsfrage: Einfluss steigender Phosphatgaben (Monocalciumphosphat) auf den Gehalt von Maispflanzen an Cu, Mn, Zn und Fe.

Versuchspflanze: "Gelber Badischer Landmais"

Aussaatmenge: 15 Körner je Gefäß

Kultursubstrat: Mischung 1:1 von grobem und mittelfeinem Quarzsand (0,7-1,2 µm bzw. 0,4-0,7 mm).

Grunddüngung je Gefäß:

0,75 g K_2O als KCl und 0,75 g K_2O als K_2SO_4
0,6 g N als NH_4NO_3
4,0 g $CaCO_3$
0,75 g $MgCO_3$
3 mg B als H_3BO_3
5 mg Cu als $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$
10 mg Mn als $MnSO_4 \cdot H_2O$
10 mg Zn als $ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$
0,5 mg Mo als $Na_2MoO_4 \cdot 2\ H_2O$
20 mg als $(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6\ H_2O$ (Morsches Salz)

Versuchsdüngung:

VR 1 : 0,25 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
2 : 0,75 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
3 : 1,25 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
4 : 1,75 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
5 : 2,25 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)
6 : 2,75 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ (MCP)

Jede Variante wurde mit 8 Parallelgefäßen angebaut.

N, Fe und die anderen Spurennährstoffe wurden in Lösung, alle anderen Nährstoffe sowie Phosphat wurden in fester Form gegeben Zwei zusätzliche N-Gaben (0,4 g und 0,5 g N als NH_4NO_3) in Lösung wurden im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode gegeben.

Ansetzen des Versuchs: 21.6.1971

Aussaat: 15 Körner je Gefäß

1. Ernte (Vereinzelung) auf 10 Pflanzen am 14.7.1971
2. Ernte von jeweils 2 Versuchsgefäßen je Variante am 24.7.1971
3. Ernte von jeweils 2 Versuchsgefäßen je Variante am 3.8.1971
4. Ernte von jeweils 2 Versuchsgefäßen je Variante am 13.8.1971
5. Ernte von jeweils 2 Versuchsgefäßen je Variante am 23.8.1971

4. Gefäßversuch

Versuchsfrage: Einfluss steigender Phosphatgaben (Dicalciumphosphat) auf den Gehalt von Winterweizen an Cu, Mn, Zn und Fe im Verlauf der Vegetationsperiode.

Versuchspflanze: Winterweizen ("Diplomat")

Versuchsgefäße: Mitscherlichgefäße

Aussaatmenge: 30 Körner je Gefäß

Kultursubstrat: 2 P-arme Böden

a. saurer, an Makronährstoffen armer, schwach lehmiger Sandboden aus Annerod
b. schwach saurer, an Makronährstoffen armer, sandiger Lehmboden aus Kleinlinden.

Aus früheren Untersuchungen ging hervor, dass beide Böden mit Mikronährstoffen ausreichend versorgt waren.

Boden Annerod: max. WK 25%

Boden Kleinlinden: max. WK 26,5%

Als Grunddüngung erhielten alle Gefäße
0,8 g N als NH_4NO_3
1,25g K_2O als KCl
1,25g K_2O als K_2SO_4
Boden Annerod wurde mit 12 g $CaCO_3$ + 2 g $MgCO_3$ je Gefäß aufgekalkt.
Alle Nährstoffe wurden in fester Form gegeben.
Zwei weitere N-Gaben von je 0,5 g N als NH_4NO_3 in Lösung wurde nach dem Bestocken und im vollem Schossen verabreicht.

Versuchsdüngung:

VR 1: 0,15 g P_2P_5 als Dicalciumphosphat ($CaHPO_5 \cdot 2\ H_2O$)
2: 0,60 g P_2P_5 als Dicalciumphosphat ($CaHPO_5 \cdot 2\ H_2O$)
3: 1,20 g P_2P_5 als Dicalciumphosphat ($CaHPO_5 \cdot 2\ H_2O$)
4: 2,40 g P_2P_5 als Dicalciumphosphat ($CaHPO_5 \cdot 2\ H_2O$)
5: 4,80 g P_2P_5 als Dicalciumphosphat ($CaHPO_5 \cdot 2\ H_2O$)

Der Versuch wurde am 6.11.1970 angesetzt. Jede Versuchsreihe wurde mit 8 Parallelgefäßen angebaut. Die Pflanzen überwinterten normal.

1. Vereinzelung (1.Ernte) auf 20 Pflanzen am 17.3.1971
2. Vereinzelung (2.Ernte) auf 14 Pflanzen am 1.4.1971

   Bei acht verschiedenen Ernten wurde jeweils ein Gefäß einer jeden Versuchsreihe geerntet und zwar

3. Ernte (Bestocken beendet) am 26.4.1971
4. Ernte (im Schoßen) am 12.5.1971
5. Ernte (Halmstreckung) am 26.5.1971
6. Ernte (Ährenschieben) am 8.6.1971
7. Ernte (Blüte beendet) am 22.6.1971
8. Ernte (Milchreife) am 5.7.1971
9. Ernte (Teigreife) am 16.7.1971
10. Ernte (Vollreife) am 27.7.1971

Bis zur 7. Ernte wurden die gesamten Pflanzen ohne Differenzierung untersucht, von der 8. bis zur letzten Ernte ausser den vegetativen Organen auch das Korn. Von der 3. bis zur 10. Ernte wurden ausserdem die Wurzeln geerntet und auch in diesen P und Mikronährstoffe bestimmt. Im Boden der Gefäße wurden (ebenso wie bei der Sandkultur) nach der Ernte pH-Wert und Phosphat nach der Doppellactatmethode bestimmt.

Zur Untersuchung des pflanzlichen Materials auf seinen Gehalt an Cu, Mn, Zn, Fe und P wurden nach Möglichkeit 2,0 g Substanz naß verascht mit einem Veraschungsgemisch, bestehend aus

HNO_3(s=1,4)	:	$HClO_4$(s=1,53)	:	H_2SO_4(s=1,84)	im Vol.-Verhältnis
20	:	2	:	1	

Die Veraschungslösung wurde mit aqua dest. Wasser verdünnt und über Weißbandfilter in einen 100 ml-Kolben filtriert.

Wurzeln, die durch sorgfältiges Waschen von erdigen Verunreinigungen befreit worden waren, wurden trocken verascht und zwar nach Möglichkeit 2,0 g Substanz bei 550°C in Porzellantiegel. Die Asche wurde mit ca. 1-2 ml aqua dest. angefeuchtet, mit 5 ml HNO_3 (1:2) zum Sieden erhietzt, mit heißem aqua dest. über Weißbandfilter in einen 100 ml Kolben filtriert. Durch Veraschen des Papierfilters wurde der Gehalt der Wurzelsubstanz an erdigen, unlöslichen Bestandteilen ermittelt und bei den Gehalten an P- und Mikronährstoffen berücksichtigt. Die weiteren Untersuchungen wie bei den Wasser- und Sandkulturversuchen.

Bei den Keimpflanzenversuchen wurde beim ersten Versuch die Aschenlösung von je zwei Gefäßen derselben Variante beim Filtrieren in einem 100 ml-Kolben zusammengegeben, so dass in jeder Versuchsreihe zwei biologische Parallelen zur Analyse zur Verfügung standen. Beim zweiten und dritten Versuch wurde die Aschenlösung eines jeden Gefäßes in einen 100 ml-Kolben filtriert, so dass hier in jeder Versuchsreihe 4 biologische Parallelen untersucht werden konnten. In einem aliquoten Teil des Filtrats wurde dann mit Hilfe eines Atom-Absorptionsspektralphotometers (SP 90 der Fa. Leitz Unicam) Mn, Zn und Fe bestimmt (JUDEL und HEILENZ, 1969). Cu wurde in einem aliquoten Teil der Aschenlösung kolorimetrisch nach der Methode von SCHARRER und SCHAUMLÖFFEL (1959) bestimmt. Das Prinzip dieser Methode beruht auf der Überführung des Kupfers durch Pb-DDTA-Reagenz in gelbgefärbtes Cu-DDTA, dessen Extinktion durch Messunge in Spektralphotometer bei 436 nm ermittelt.

P_2O_5 wurde in einem weiteren aliquoten Teil des Filtrats nach der Methode von GERICKE und KURMIES (1952) bestimmt.

II. Versuchsergebnisse

a. Phosphor

Phosphor spielt im Energiestoffwechsel der Pflanzen und damit bei fast allen Synthese-Reaktionen eine entscheidende Rolle. Phosphor wird deshalb in allen Pflanzen gefunden, wenn auch die einzelnen Pflanzenorgane unterschiedliche Gehalte zeigen können. Der P-Gehalt der Pflanzen ist sehr stark vom P-Gehalt des Bodens, vom Alter der Pflanzen sowie von der Höhe der P-Düngung abhängig.

Bei MAYR und KÜHN (1969) werden folgende P-Gehalte angegeben:

Winterweizen	Oberird.Organe	2,3 - 3,2 mgP/g ATM
	Körner	4,0 - 5,5 mgP/g ATM
Grünmais	Vegetative Organe	1,9 - 2,7 mgP/g ATM

SCHARRER und KÜHN (1955) und (1956) fanden bei Mais in Abhängigkeit vom Alter der Pflanzen und von der Höhe der P-Düngung folgende P-Gehalte: 0,71 - 7,00 bzw. 0,85 - 6,59 mgP/g ATM.

In den eigenen Versuchen bewegten sich die P-Gehalte zwischen folgenden Grenzwerten (mg/g ATM P):

	Gerstenkeimpflanzen		
Sprosse	8,7 - 17,9	Wurzeln	3,1 - 7,9
	Mais (Wasserkultur)		
Vegetative Organe	2,0 - 11,9	Wurzeln	1,4 -10,2
	Mais (Sandkultur)		
Vegetative Organe	0,9 - 8,5	Wurzeln	0,9 - 7,9

Winterweizen (Bodenkultur)

Vegetative Organe	0,2 - 11,0	Wurzeln	0,5 - 5,0	Körner	2,3 - 4,4

Phosphatmangelerscheinungen traten in den niedrigen Düngungsstufen sowohl im Wasserkultur- und im Sandkulturversuch mit Mais als auch im Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf. Der Maximalertrag wurde in einer der mittleren Düngungsstufen erreicht. Die höheren und höchsten P-Stufen steigerten die Erträge also nicht mehr. Auf der anderen Seite führten sie aber auch nicht zu Ertragsdepressionen. Die P-Versorgung der Pflanzen bewegte sich also zwischen Mangelsituation und Luxusangebot an P, wie es z.B. vorliegen kann, wenn eine P-Vorratsdüngung für mehrere Jahre gegeben worden ist. Rechnet man die in den Gefäßversuchen verabreichten P-Gaben auf praktische Verhältnisse um, unter Annahme, dass ein Mitscherlich-Gefäß 1/400 000 ha entspricht, so ergeben sich für den Sandkulturversuch Düngergaben von 0 - 100 - 300 - 500 - 700 - 900 - 1100 kg/ha P_2O_5 und für den Bodenkulturversuch 0 - 60 - 240 - 480 - 960 - 1920 kg/ha P_2O_5.
Auch für von Hause aus P-arme Böden, wie sie beiden Versuchsböden darstellen, bedeuten die höchsten P-Stufen eine weit über das normale Maß hinausgehende Versorgung. Noch mehr gilt das für den völlig ungepufferten Quarzsand im Sandkulturversuch.
In den Keimpflanzenversuchen kann man in den nicht mit P gedüngten Versuchsreihen, auf Grund des hohen P-Gehaltes im Getreidekorn nicht von ausgesprochenem P-Mangel sprechen. Auf der

anderen Seite sind in den hohen Düngungsstufen die Düngergaben noch wesentlich höher in den Gefäßversuchen, so dass hier insgesamt eine Steigerung von mäßiger bis überhöhter P-Versorgung vorliegt.
In den Wasserkulturen können die P-Konzentrationen in VR 2 und VR 3 als normal angesehen werden, so dass in VR 5 die Konzentrationen etwa 4 mal, in VR 6 die Konzentration etwa 6 mal höher ist als in einer normalen Nährlösung.
In den vorliegenden Versuchen werden also alle Versorgungsbereiche von ungenügender bis überhöhter P-Versorgung erfasst. Wenn auch unter praktischen Verhältnissen Wechselwirkungen zwischen P-Düngung und Versorgung der Pflanzen mit mikronährstoffen vor allem bei überhöhter P-Düngung beobachtet worden sind, so erschien zur Aufklärung der grundsätzlichen Zusammenhänge es doch notwendig, auch die niedrigen P-Versorgungsstufen in die Versuche einzubeziehen.
Aus den P-Gehalten (siehe auch Abb. 1-8) und den P-Entzügen (siehe Tabellen im Anhang) geht hervor, dass in allen Versuchen bei steigenden P-Gaben sowohl der P-Gehalt der Wurzeln als auch der der Sprosse deutlich zugenommen hat. Diese Zunahme der P-Gehalte erfolgt vor allem bei den niedrigen P-Gaben.
In den höchsten P-Stufen kann es vorkommen, dass der P-Gehalt leicht von der steigenden Tendenz abweicht. Vor allem dieser Umstand führt dazu, dass vereinzelt die Korrelation zwischen P-Düngung und P-Gehalt nicht signifikant bzw. hochsignifikant ist (Tabellen a_1 und a_2).

Abb. 1: 1. Keimpflanzenversuch mit Gerste (niedrige DCP-Gaben)
Gehalte von Wurzel und Spross an P, Zn, Mn, Cu, Fe in mg bzw, γ/g lft.S.

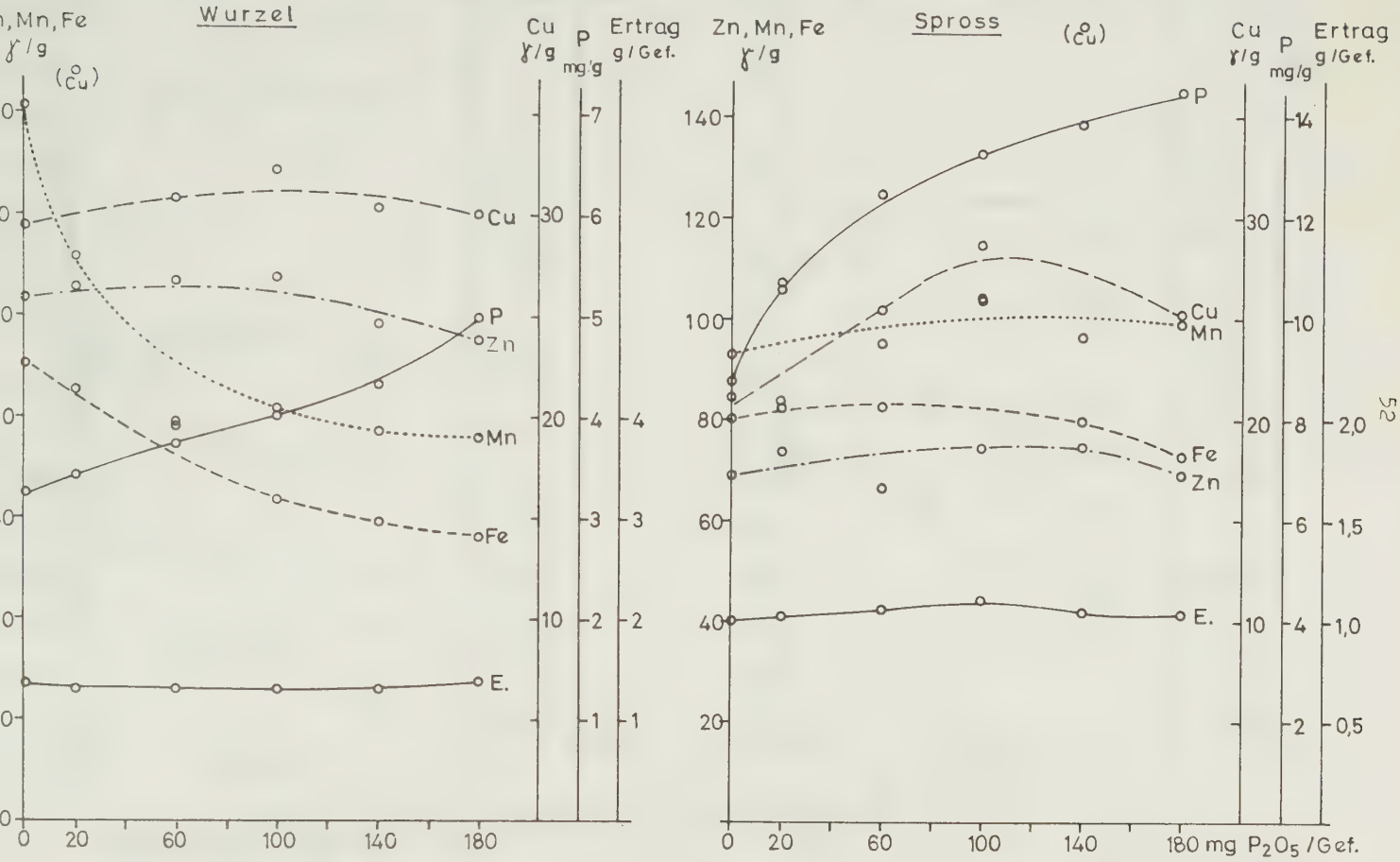
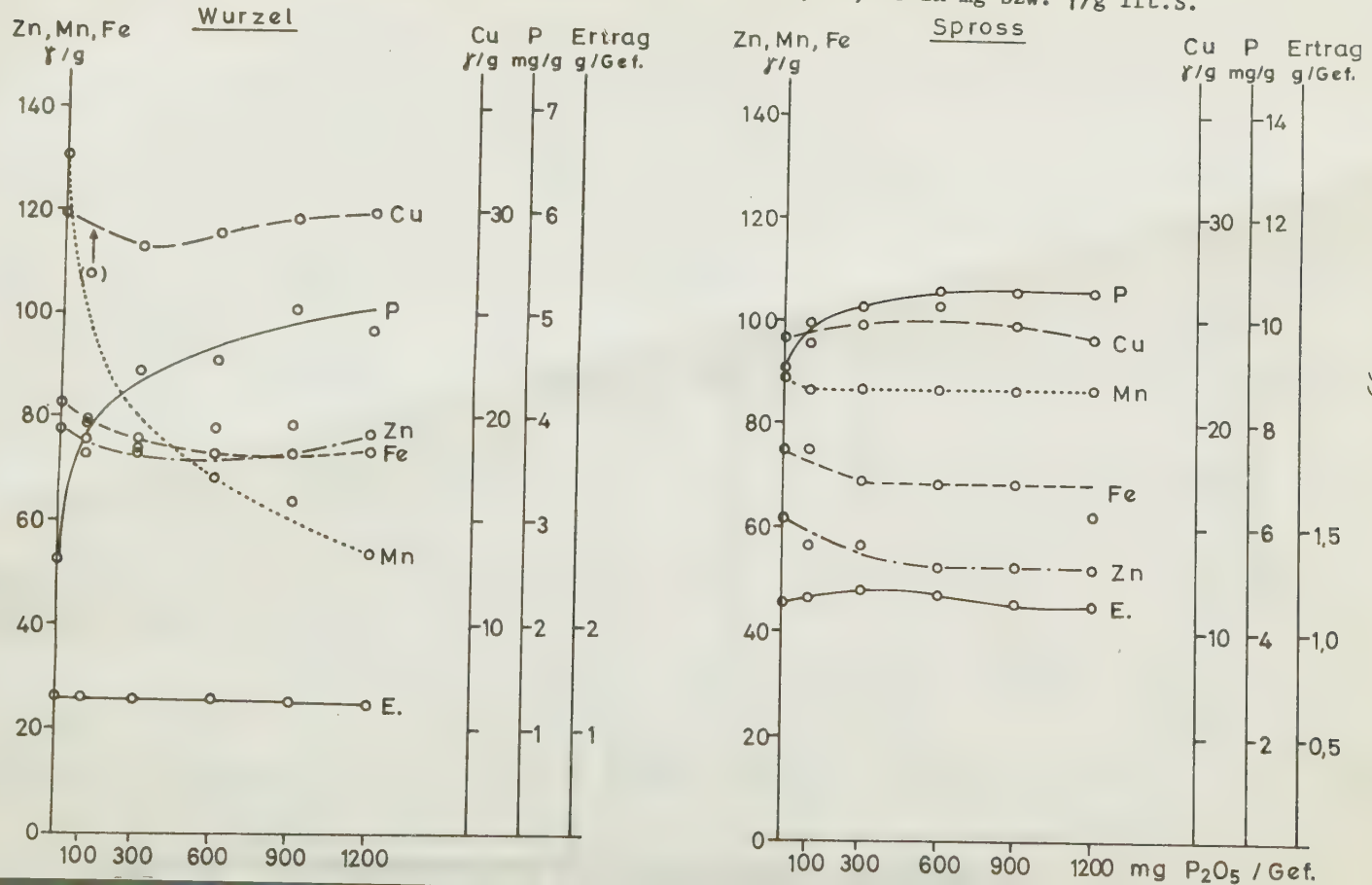


Abb. 2: 2. Keimpflanzenversuch mit Gerste (hohe DCP-Gaben)
Gehalte von Wurzel und Spross an P, Zn, Mn, Cu, Fe in mg bzw. γ/g lft.S.



Gehalte von Wurzel und Spross an P, Zn, Mn, Cu, Fe in mg bzw. γ/g lft.S.

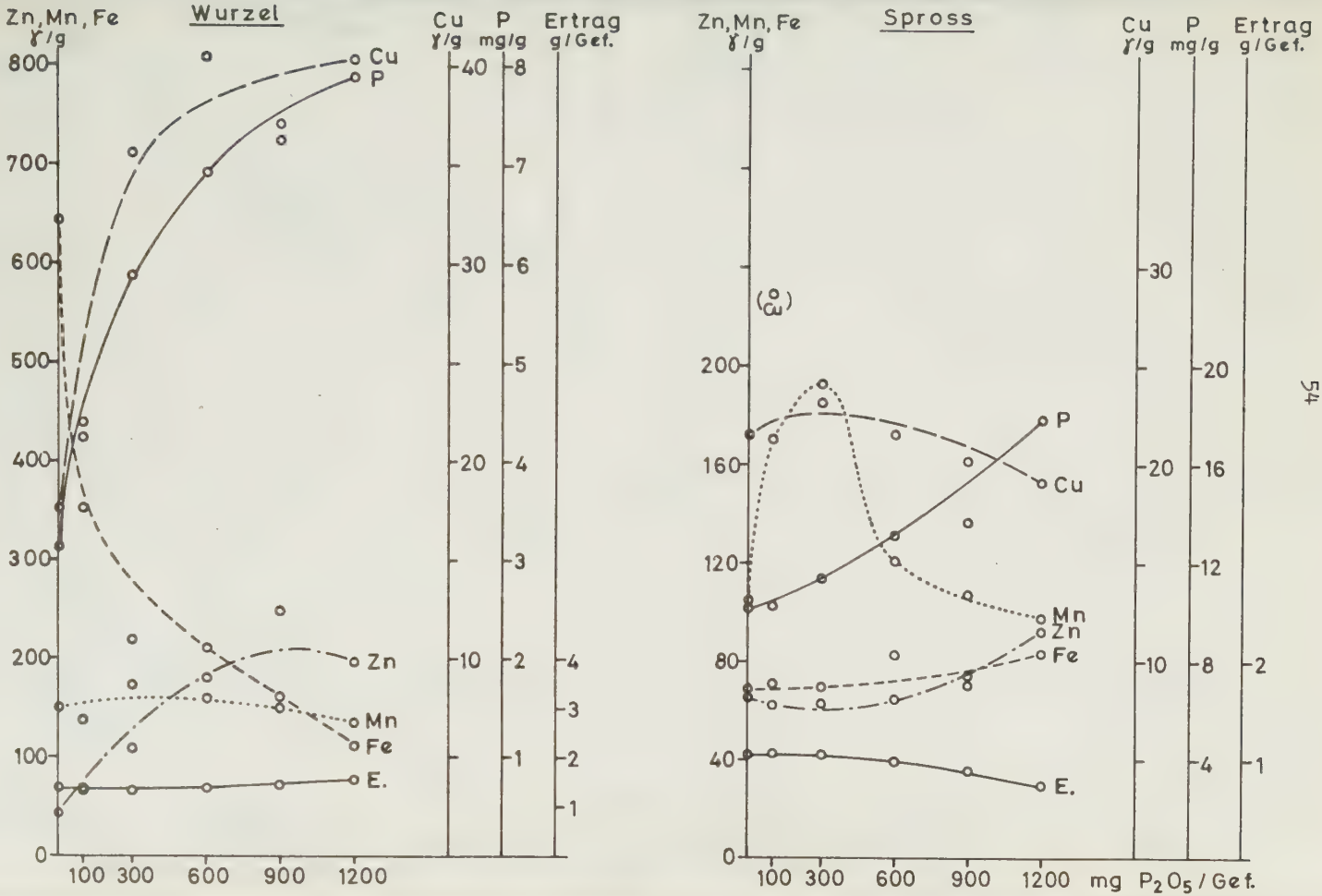


Abb. [illegible] Sandkulturversuch [illegible] M[illegible] ([illegible] P-Gaben)
P-Gehalte (mg P/g ATM) bei 5 Ernten sowie Ertrag (g/Gef.ATM) bei der 5.Ernte

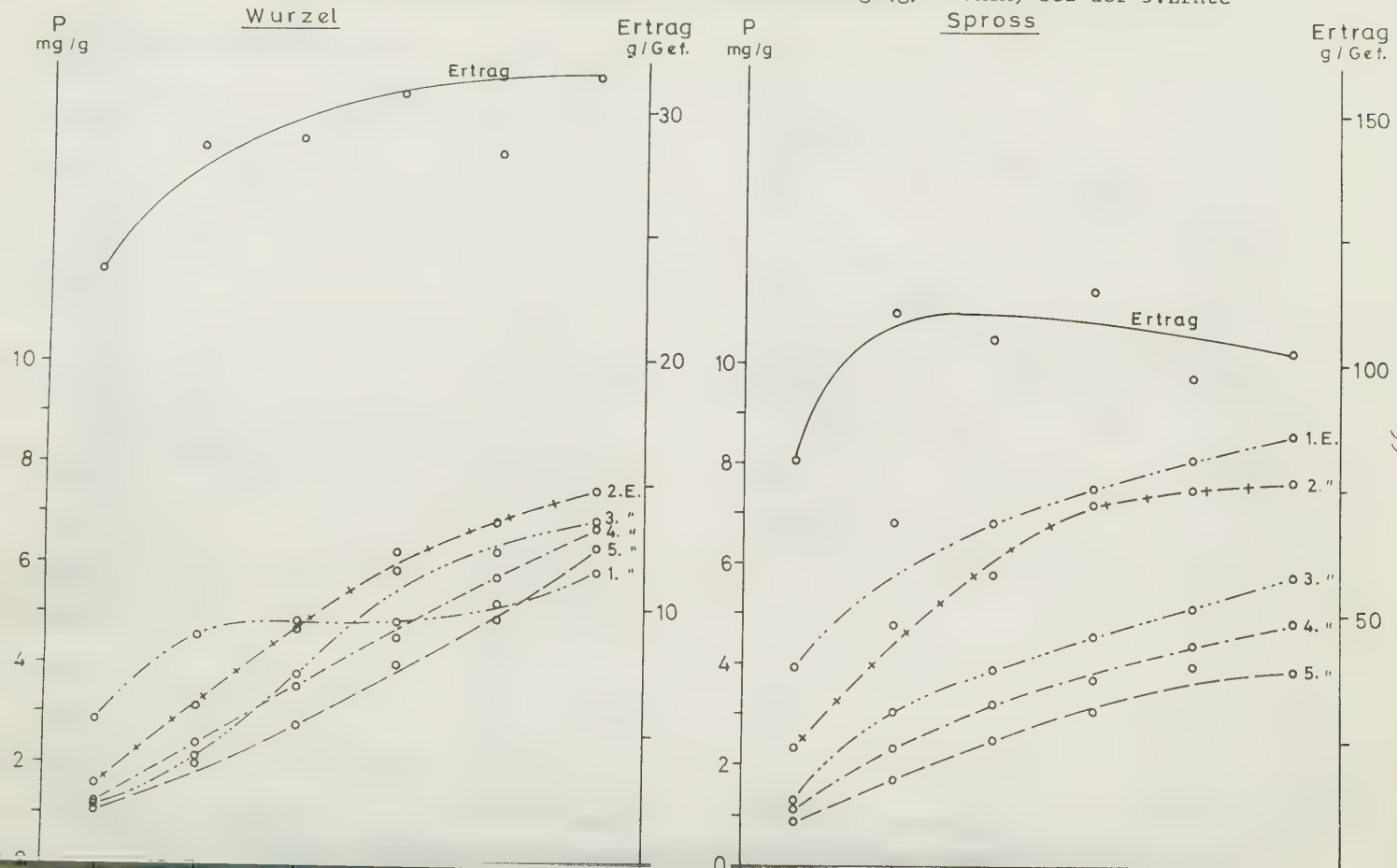


Abb. 5: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Annerod
P-Gehalte (mg P/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

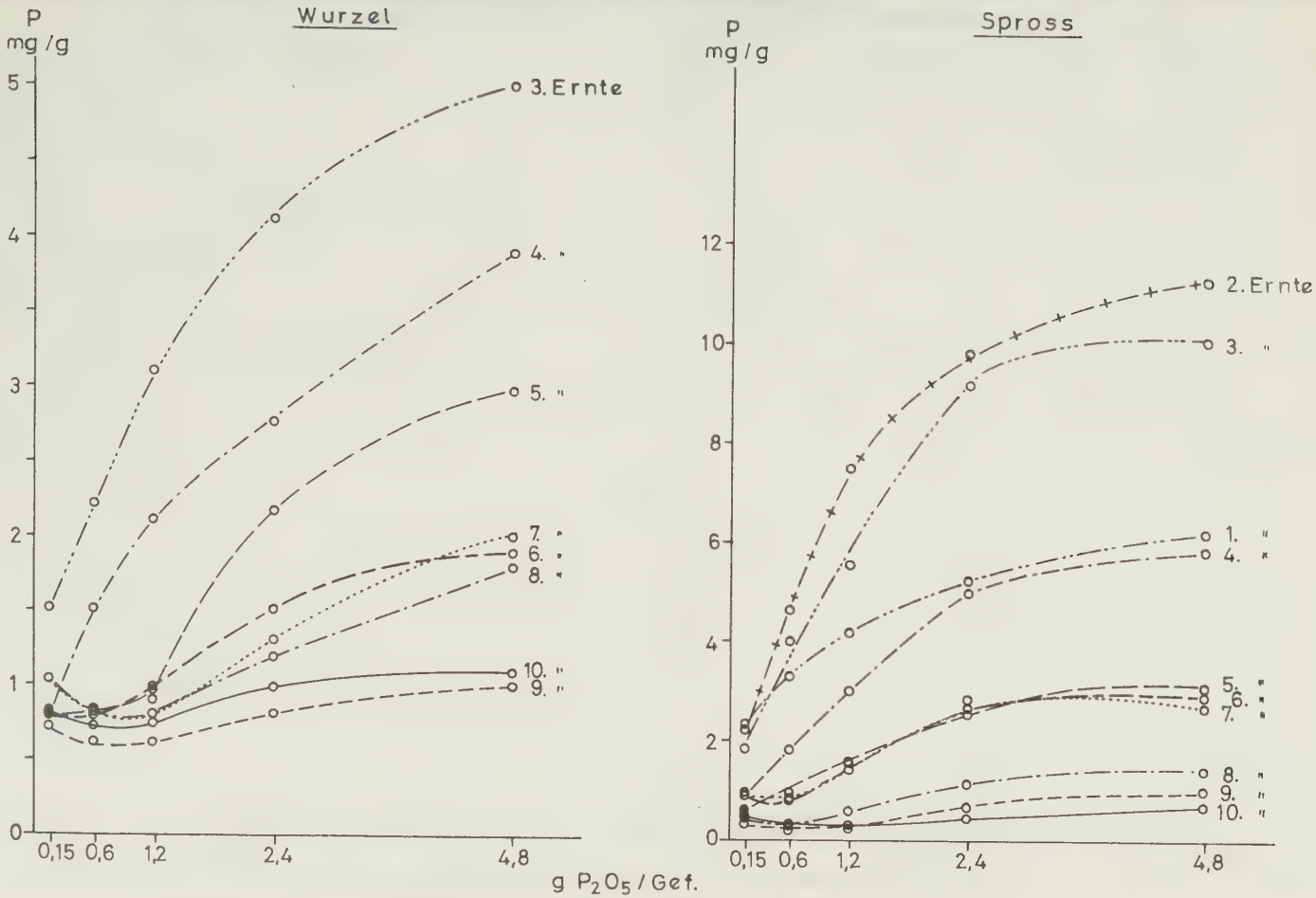


Abb. 6: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Kleinlinden
P-Gehalte (mg P/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

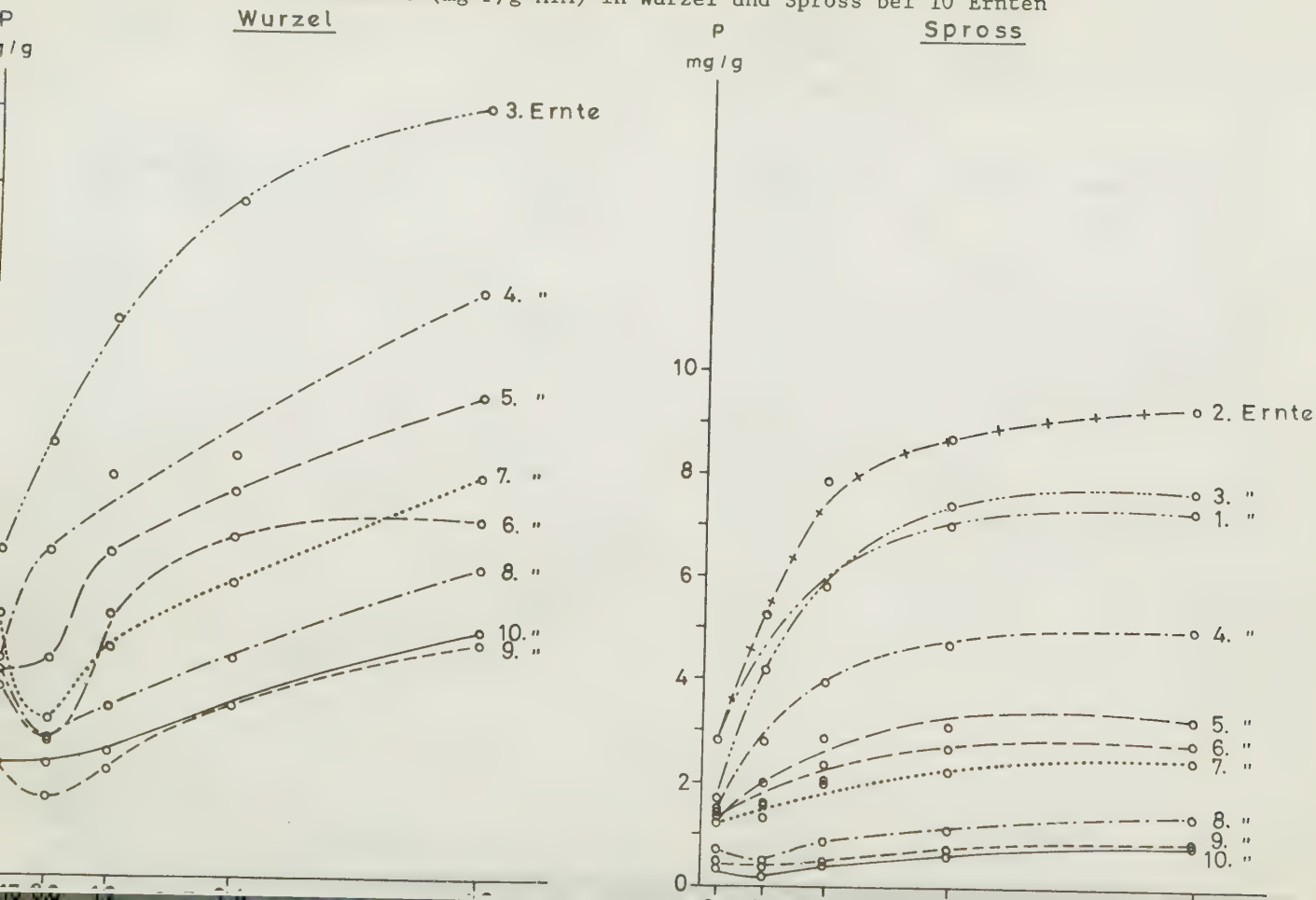


Abb. 7: Bodenkulturversuche mit Winterweizen
P-Gehalte im Korn bei drei Ernten (mg P/g ATM)

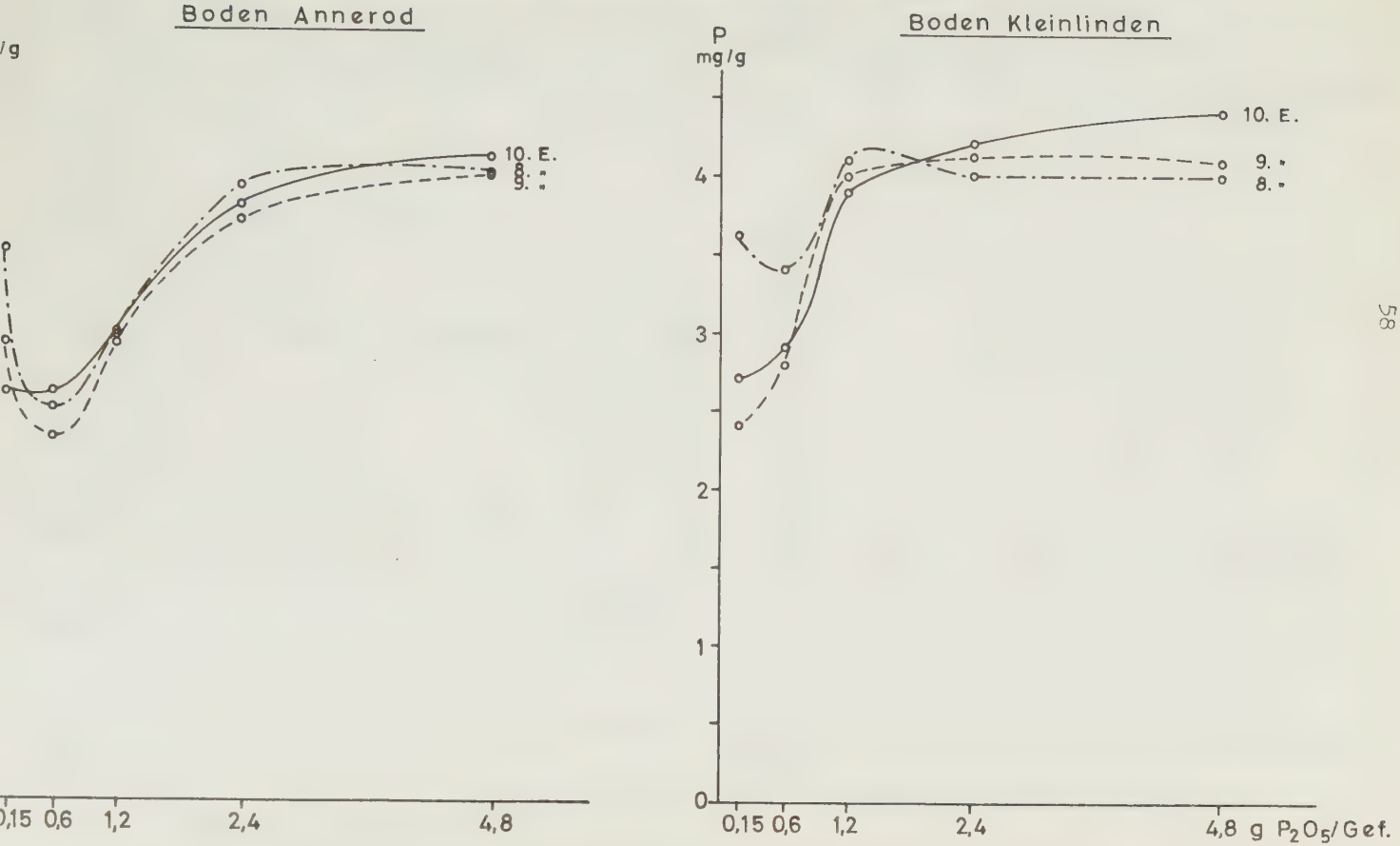


Abb. 8: Bodenkulturversuche mit Winterweizen
Korn-, Stroh- und Wurzelerträge bei der Vollreife (10.Ernte) (g/Gefäß ATM)

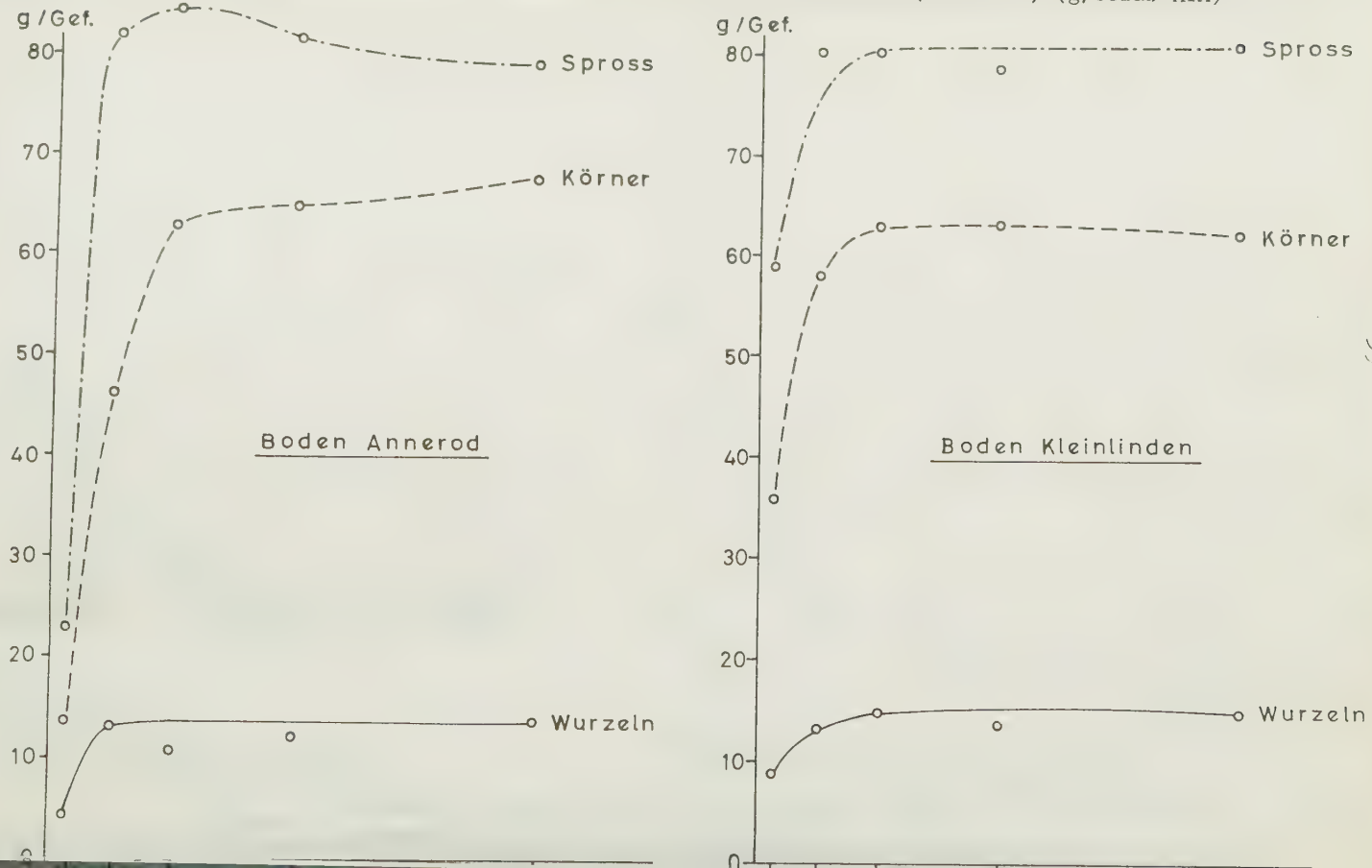


Tabelle a_1: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und P-Gehalt der Wurzel

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	$+0{,}98^{++}$ (1.V.)	$+0{,}96^{++}$	$+0{,}89^{+}$			$+0{,}97^{++}$ (1.V.)	$+0{,}95^{++}$	$+0{,}95^{+}$		
2.	$+0{,}76^{++}$ (2.V.)	$+0{,}89^{++}$	$+0{,}97$			$+0{,}69^{++}$ (2.V.)	$+0{,}84^{++}$	$+0{,}95^{++}$		
3.	$+0{,}90^{++}$ (3.V.)	$+0{,}88^{++}$	$+0{,}99^{++}$	$+0{,}96^{++}$	$+0{,}94^{+}$	$+0{,}87^{++}$ (3.V.)	$+0{,}84^{++}$	$+0{,}98^{++}$	$+0{,}97^{+}$	$+0{,}95^{+}$
4.			$+1^{++}$	$+0{,}97^{++}$	$+0{,}95^{+}$			$+1^{++}$	$+0{,}99^{++}$	$+0{,}97^{+}$
5.			$+0{,}99^{++}$	$+0{,}98^{++}$	$+0{,}96^{++}$			$+0{,}99^{++}$	$+0{,}97^{+}$	$+0{,}94$
6.				$+0{,}99^{++}$	$+0{,}85$				$+0{,}98^{+}$	$+0{,}82$
7.				$+0{,}99^{++}$	$+0{,}87$				$+1^{++}$	$+0{,}99^{++}$
8.				$+0{,}95^{+}$	$+0{,}90^{+}$				$+0{,}99^{++}$	$+1^{++}$
9.				$+0{,}90^{+}$	$+0{,}96^{++}$				$+1^{++}$	$+0{,}99^{++}$
10.				$+0{,}88^{+}$	$+0{,}99^{++}$				$+0{,}95^{+}$	$+1^{++}$
		$+0{,}90^{++}$	$+0{,}97^{++}$	$+0{,}81^{++}$	$+0{,}87^{++}$		$+0{,}87^{++}$	$+0{,}95^{++}$	$+0{,}86^{++}$	$+0{,}92^{++}$

Tabelle a_2: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und P-Gehalt im Sproß

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	+0,93^{++} (1.V.)	+0,83^{++}	+0,90^{+}	+0,95^{+}	+0,82	+0,96^{++} (1.V.)	+0,80^{++}	+0,97^{++}	+0,97^{+}	+0,90
2	+0,70^{++} (2.V.)	+0,93^{++}	+0,93^{++}	+0,89^{+}	+0,82	+0,60^{++} (2.V.)	+0,94^{++}	+0,92^{++}	+0,90	+0,81
3	+0,98^{++} (3.V.)	+0,93^{++}	+0,97^{++}	+0,91^{+}	+0,83	+0,98^{++} (3.V.)	+0,91^{++}	+0,99^{++}	+0,90	+0,85
4			+0,98^{++}	+0,93^{+}	+0,83			+0,99^{++}	+0,92	+0,84
5			+0,97^{++}	+0,92^{+}	+0,81			+0,95	+0,89	+0,82
6				+0,97^{++}	+0,88^{+}				+0,96^{+}	+0,85
7				+0,96^{++}	+0,89^{+}				+0,95^{+}	+0,85
8				+0,94^{+}	+0,93^{+}				+0,96^{+}	+0,93
9				+0,92^{+}	+0,90				+0,98^{+}	+0,94
10				+0,95^{+}	+0,95^{+}				+0,98^{+}	+0,98^{+}
		-0,90^{++}	+0,94^{++}	+0,71^{++}	+0,66^{++}		+0,88^{++}	+0,95^{++}	+0,74^{++}	+0,71^{++}

Bei der relativ geringen Zahl von Stichproben jeder einzelnen Ernte kann bereits ein einziger solcher Wert die Korrelation schwächen. Ermittelt man aber die Korrelation zwischen P-Düngung und P-Gehalten für den ganzen Versuch, d.h. für sämtliche Ernten, so ergeben sich hochsignifikante Korrelationen sowohl für Wurzeln als auch für Sprosse. Aus den Tabellen 46 und 47 geht auch hervor, dass der P-Gehalt des Bodens bzw. des Sands bei steigenden P-Gaben deutlich zunimmt und im Laufe der Vegetationsperiode auf Grund der starken Wurzelentwicklung, die zur höheren P-Aufnahme bzw. zu höherem P-Entzug führt, wieder abnimmt.

b. Zink

Der Gehalt der Pflanzen an den einzelnen Nährstoffen erlaubt Rückschlüsse auf den Versorgungsgrad mit dem betreffenden Element und die Einordnung in einzelne Versorgungsstufen. So gibt CHAPMAN (1966) für Zink folgende Einstufungsbereiche an, die für zahlreiche Pflanzenarten Gültigkeit haben:

Mangel	normale Versorgung	Überschuß
20-25 ppm	25-100 ppm	400 ppm

JONES (1967) kommt zu nachstehender Einstufung bei Mais und zwar für das Kolbenblatt zu Beginn der Blüte:

Mangel	10	ppm
niedrig	11 - 20	ppm
ausreichend	21 - 70	ppm
hoch	71 -100	ppm
Überschuss	100	ppm

Ordnet man die bei den eigenen Untersuchungen gefundenen Zn-Gehalte in diese Bereiche ein, so ergibt sich, dass bei den vorliegenden Versuchen die Pflanzen ganz allgemein als mit Zink ausreichend versorgt angesehen werden können. Zn-Mangelerscheinungen traten nicht auf und wurden auch durch die höchsten P-Gaben nicht induziert.

1. Keimpflanzenversuche

a. 1. Versuch (Abb. 1 und Tab. 1). Steigende P-Gaben (0-180 mg P_2O_5) in Form von Dicalciumphosphat verändern den Zn-Gehalt in Wurzel und Sproß nur wenig. Er schwankt zwischen 95-103 ppm (Wurzel) und 66-74 ppm (Sproß).
Eine sichere Korrelation zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt besteht nicht (Tab. b_1 und b_2).

Tabelle b_1: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt der Wurzel

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	-0,38 (1.V.)	+0,76^{+}	+0,01			-0,47 (1.V.)	+0,76^{+}	+0,18		
2	-0,05 (2.V.)	+0,20	+0,59^{+}			+0,17 (2.V.)	+0,40	+0,88^{++}		
3	+0,89^{++} (3.V.)	+0,08	+0,72^{++}	+0,80	-0,89^{+}	+0,84^{++} (3.V.)	+0,12	+0,88^{++}	+0,73	-0,85
4			+0,62^{+}	+0,95^{+}	-0,72			+0,82^{++}	+0,97^{+}	-0,66
5			+0,49	+0,83	-0,29			+0,58	+0,77	+0,36
6				+0,81	-0,43				+0,92	+0,15
7				+0,03	-0,36				+0,61	+0,44
8				-0,41	-0,19				+0,44	+0,69
9				-0,33	-0,24				-0,14	+0,76
10				-0,09	-0,42				+0,75	+0,18
		+0,44^{+}	+0,48^{++}	+0,48^{++}	-0,38^{+}		+0,49^{++}	+0,64^{++}	+0,61^{++}	-0,16

Tabelle b_2: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt im Sproß

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	+0,13 (1.V.)	+0,60^{+}	-0,24	+0,58	-0,94^{+}	+0,04 (1.V.)	+0,66^{+}	+0,38	+0,38	-0,98^{+}
2	-0,81^{++} (2.V.)	-0,61^{+}	+0,09	+0,59	+0,77	-0,73^{++} (2.V.)	-0,36	+0,88^{++}	+0,37	+0,92
3	+0,69^{++} (3.V.)	-0,38	+0,18	+0,22	-0,81	+0,68^{++} (3.V.)	-0,05	+0,73^{+}	-0,58	-0,78
4			-0,27	-0,55	-0,77			+0,24	-0,38	-0,94
5			-0,61	-0,20	-0,55			-0,28	+0,98^{+}	-0,26
6				+0,01	-0,61				+0,66	-0,44
7				-0,49	-0,67				0,00	-0,53
8				-0,52	-0,50				-0,25	-0,13
9				+0,04	+0,06				+0,77	+0,65
10				+0,24	-0,69				+0,84	-0,61
		-0,15	-0,22	-0,11	-0,46^{++}		-0,17	+0,39^{++}	+0,29	-0,44^{++}

b. 2. Versuch (Abb. 2 und Tab. 2). Eine Steigerung der Dicalciumphosphatgaben von 0 - 1200 mg P_2O_5 wirkt sich ebenfalls nicht auf den Zn-Gehalt der Wurzeln von Gerstenkeimfplanzen aus. Der Zn-Gehalt der Sprosse nimmt dagegen bis zur mittleren Düngungsgabe leicht ab. Die hohen Gaben verändern den Gehalt nicht mehr. Während in der Wurzel keine sichere Korrelation besteht, ist sie im Sproß hochsignifikant ($r= -0,81^{++}$), (siehe Tab. b_1 und b_2).

c. 3. Versuch (Abb. 3 und Tab. 3). Zu ganz anderem Ergebnis führt die Steigerung von Monocalciumphosphat (0 - 1200 mg P_2O_5). Hier erhöhen steigende P-Gaben den Zn-Gehalt von Sproß und insbesondere der Wurzel. In beiden Fällen ergibt sich eine hochsignifikante positive Korrelation ($r= +0,89^{++}$ für Wurzel und $r= +0,69^{++}$ für Sproß, Tab. b_1 und b_2).

Die Unterschiede zwischen beiden Phosphatformen in ihrer Wirkung auf den Zn-Gehalt der Gerstenpflanzen können verursacht sein durch einen unterschiedlichen Einfluss auf die Reaktion des Nährsubstrats, die allerdings nur im Versuch mit MCP nach Versuchsende bestimmt wurde. Die pH-Werte lassen eine sehr deutliche und gleichmäßige Verschiebung zum sauren Bereich durch MCP erkennen, die offensichtlich die Zn-Aufnahme begünstigt hat und stärker wirksam gewesen ist als die steigenden Phosphatgaben (Tab. g).

Tabelle g: pH-Werte im Sand bei Sommergerste (Keimpflanzenversuche mit Monocalciumphosphat)

VR	n_1 KCl
I	9,13
II	7,82
III	7,23
IV	7,16
V	7,14
VI	6,91

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten erfolgte in sämtlichen Versuchen einmal unter Einbeziehung der Gehaltswerte auch bei der niedrigsten P-Düngungsstufe, zum anderen unter Außerachtlassung dieser Werte. Bei den Pflanzen in der niedrigsten P-Düngungsstufe handelt es sich, mit Ausnahme der Keimpflanzenversuche, um ausgesprochene P-Magenlpflanzen, bei denen es durch einen reinen Konzentrationseffekt häufig zu einer starken Anreicherung von anderen Elementen kommt. Solche hohen Gehalte, die nicht spezifisch von der P-Düngung hervorgerufen worden sind und die bereits bei relativ niedrigen P-Gaben abnehmen, bestimmen weitgehend Richtung und Stärke einer Korrelation. Sie sollen nicht überbewertet werden. Bei Keimpflanzen, mit einer hohen Phosphatreserve im Samen, kann allerdings auch in der P_o-Stufe nicht von ausgesprochenem P-Mangel gesprochen werden.

2. Wasserkulturversuch mit Mais (Tab. 4 - 6)

Beim Wasserkulturversuch wurden bei jeder Ernte zwei Gefässe aus jeder P-Düngungsstufe geerntet. Die Pflanzen jedes der beiden Parallelgefäße wurden getrennt analysiert. Die Gehaltswerte stellen somit analytische Mittelwerte von zwei biologischen Parallelen dar.

Da die Zn-Gehalte innerhalb der einzelnen Ernten und zwischen den verschiedenen Ernten außerordentlich stark und unregelmäßig schwanken, wird auf die Darstellung der Zn-Gehalte in Kurvenform verzichtet. Sie sind in Tabellen 4-6 zusammengestellt.

Bei der 1. Ernte nimmt in der Wurzel mit steigender P-Konzentration in der Nährlösung der Zn-Gehalt zu ($r=+0,76^{+}$) bei der 2. und 3. Ernte liegen die Zn-Gehalte insgesamt niedriger, und eine sichere Beziehung besteht nicht mehr ($r= +0,20$ bzw.$+ 0,08$).

Im Sproß werden niedrigere Zn-Gehalte als in der Wurzel angetroffen. Bei der 1. Ernte nimmt mit steigender P-Düngung der Zn-Gehalt zu ($r= +0,60^{+}$). Bei der 2. Ernte nimmt er ab ($r= -0,61^{+}$), ohne die Werte der P_o-Stufe besteht aber keine gesicherte Korrelation mehr ($r= -0,36$). Bei der 3. Ernte sind wie bei der 2. Ernte die Zn-Gehalte im Sproß in der P_o-Stufe erhöht, es gibt aber keine sichere Korrelation mehr ($r= -0,38$ bzw. $-0,05$).

Bei Zusammenfassung aller 3 Ernten zeigt sich ein den Zn-Gehalt der Wurzel erhöhender Einfluss steigender P-Gaben ($r= +0,44^{+}$ bzw. $r= + 0,49^{++}$). Ein sicherer Zusammenhang

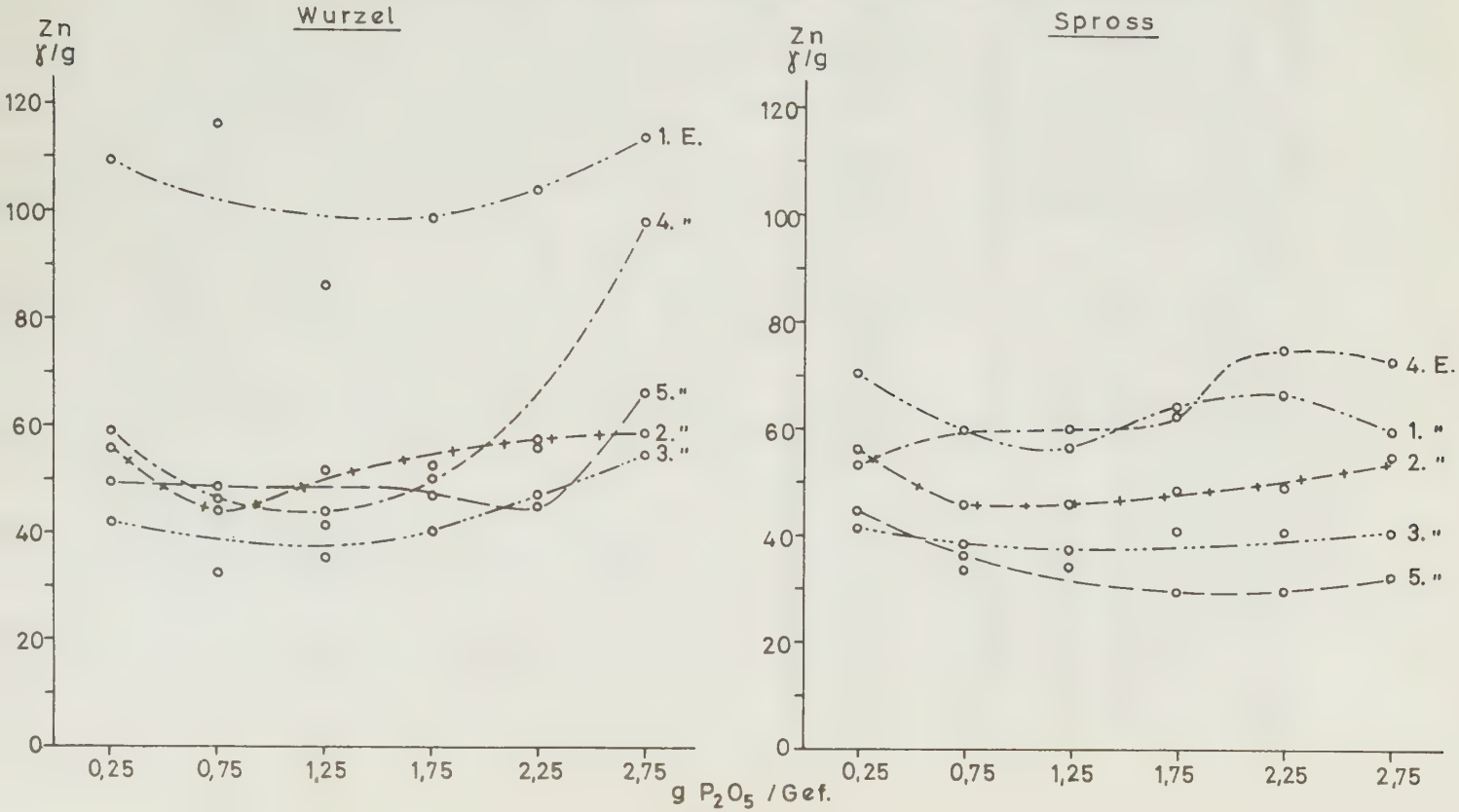
zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt im Sproß besteht jedoch nicht (r= -0,15 bzw. r= +0,17).

Insbesondere die schwer durchschaubaren Ergebnisse des Wasserkulturversuchs waren Veranlassung für die Berechnung der Korrelationskoeffizienten, die die Diskussion und die objektive Interpretation der Ergebnisse erleichtern sollen.

3. Sandkulturversuch mit Mais (Abb. 9 und Tab. 7 - 11)

Wie beim Wasserkulturversuch wurden auch bei der Sandkultur bei jeder Ernte jeweils 2 Gefäße aus jeder P-Düngungsstufe getrennt geerntet und getrennt analysiert. Die Gehaltswerte sind demnach analytische Mittelwerte von zwei biologischen Parallelen (Abb. 9 und Tab. 7 -11).
Die bei der 1. Ernte relativ hohen Zn-Gehalte in Wurzel und Sproß nehmen ganz allgemein bis zur 5. Ernte ab.
Die Zn-Gehalte der Wurzeln zeigen, mit Ausnahme der 1. Ernte, bei allen weiteren Ernten eine steigende Tendenz mit steigenden P-Gaben. Zwar besteht nur bei der 3. Einzelernte eine hochsignifikante positive Korrelation ($r= +0,72^{++}$), die Zusammenfassung aller Ernten ergibt jedoch für den gesamten Versuch die gleiche Abhängigkeit ($r= +0,48^{++}$), und ohne die P_o-Stufe gilt sie für die 2.-4. Einzelernte und ebenfalls für den gesamten Versuch ($r= +0,64^{++}$).
Für den Sproß sind die Verhältnisse nicht so klar. Eine sichere Beziehung zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt des Sproßes ist nur für die 5. Einzelernte gegeben. Für den ge-

Abb. 9: Sandkulturversuch mit Mais (steigende MCP-Gaben)
Zn-Gehalte (γ Zn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 5 Ernten



samten Versuch besteht auch keine Korrelation. Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe ist jedoch bei der 2. und 3. Ernte und für den gesamten Versuch eine signifikante positive Korrelation gegeben ($r=+0,88^{++}$, $r= +0,73^{+}$ und $r= +0,39^{++}$). Die Zn-Kurven machen deutlich, dass der Zn-Gehalt in der Hauptsache vom Mangelzustand bis zur optimalen Versorgung der Maispflanze mit Phosphat beeinflusst wird. Von der optimalen Versorgungsstufe an bis zu den hohen P-Stufen ändert sich der Zn-Gehalt kaum noch.

Aus der Tabelle i ist ersichtlich, dass der Sandkulturversuch in allen Versuchsreihen einen neutralen bis schwach alkalischen pH-Wert aufweist.

Tabelle i: pH-Werte bei Mais im Sandkulturversuch

H_2O

	I	II	III	IV	V	VI
2.Ernte	8,13	7,50	7,52	7,53	7,39	7,42
	7,85	7,68	7,38	7,56	7,38	7,32
3.Ernte	7,20	7,18	7,20	7,17	7,14	7,15
	7,11	7,06	7,19	7,20	6,99	6,81
4.Ernte	6,38	6,97	6,96	7,08	7,24	7,31
	6,58	6,36	6,84	7,24	7,07	7,08
5.Ernte	6,50	5,92	6,60	6,59	6,68	6,34
	6,00	7,36	6,60	6,29	6,32	6,37
Mittel-werte	6,96	6,95	7,03	7,02	7,03	7,10

n/1 KCl

	I	II	III	IV	V	VI
2.Ernte	8,24	8,15	8,07	7,93	7,78	7,91
	7,78	8,11	7,82	7,98	7,71	7,60
3.Ernte	7,20	7,57	7,59	7,68	7,50	7,64
	7,24	7,43	7,70	7,74	7,47	7,33
4.Ernte	5,63	6,65	6,76	7,10	7,37	7,39
	5,88	6,10	7,00	7,31	6,98	6,98
5.Ernte	6,40	5,71	6,51	6,58	6,77	6,26
	5,66	7,96	6,50	6,22	6,23	6,24
Mittel-wert	6,75	7,21	7,24	7,32	7,23	7,17

Die Versuchsergebnisse bestätigen somit nicht die Befunde anderer Autoren, dass hohe Phosphatgaben bei dieser Bodenreaktion die Zn-Aufnahme hemmen.

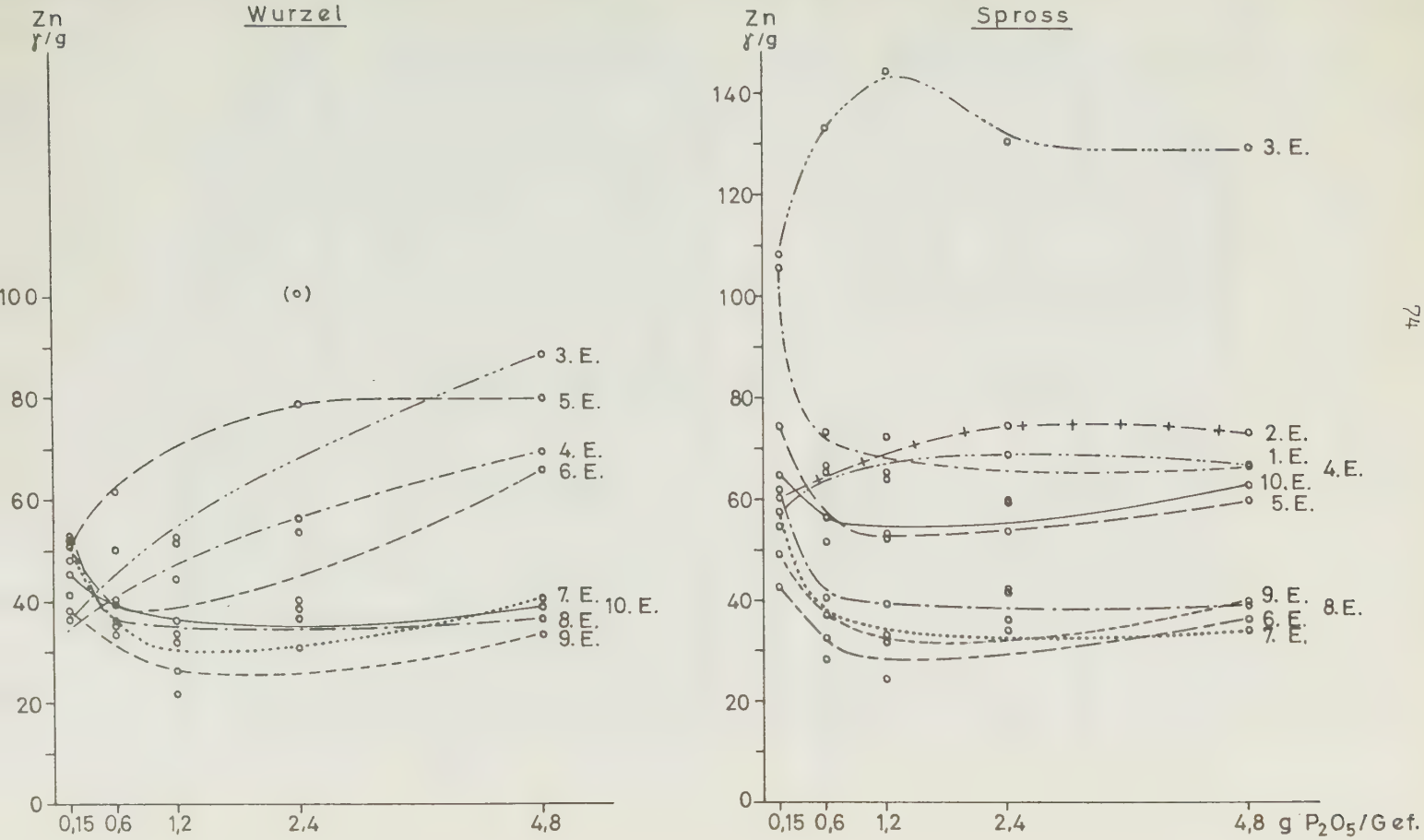
4. Bodenkulturversuch mit Winterweizen

a. Boden Annerod

Die Gehaltsgaben sind Mittelwerte, von zwei analytischen Parallelen an jeweils einer Substanz. Es wurde hier bei jeder Ernte immer ein Gefäß jeder Versuchsvariante geerntet. Bei den Ernten 1 und 2 handelt es sich um Vereinzelungen, bei denen nur die oberirdischen Pflanzenteile geerntet wurden. Für Wurzeln gibt es hier deshalb keine Ergebnisse.
Aus den Tab. 12-20 und Abb. 10 ist ersichtlich, dass bei steigenden P-Gaben der Zn-Gehalt der Wurzel bis zur 7. Ernte ansteigt. In den Ernten 8,9 und 10 nimmt der Zn-Gehalt der Wurzeln jedoch leicht ab; ohne die P_o-Stufe ist es schwierig, für die Ernten 8, 9 und 10 eine klare Aussage zu machen.
Für den gesamten Versuch auf Boden Annerod besteht eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt der Wurzel ($r= +0,48^{++}$). Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe wird die Beziehung noch enger ($r=+0,61^{++}$).

Ein Einfluss der P-Düngung auf den Zn-Gehalt des Sprosses ist meist nur zwischen P_o- und P_1-Stufe zu beobachten. Vor allem ab der 4. Ernte weisen die Pflanzen bei der P_o-Stufe höhere Zn-Gehalte im Sproß auf als bei den folgenden höheren P-Düngungsstufen. Dies ist sehr wahrscheinlich auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen, was auch aus den Tabellen des

Zn-Gehalte (γ Zn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten



Zn-Entzugs deutlich zu ersehen ist. Hier zeigt sich, dass absolut der Zn-Entzug bei den niedrigsten P-Düngungsstufen am geringsten ist. Aus den Zn-Kurven (Abb. 10) ist zu entnehmen, dass die meisten Veränderungen bezüglich des P-Einflusses auf den Zn-Gehalt der Wurzel und des Sprosses bei den ersten niedrigsten P-Düngungsstufen zu beobachten sind, und zwar nimmt der Zn-Gehalt der Pflanze bis zur nächsten P-Stufe steil ab. Danach nimmt er wieder leicht zu, was besonders bei den Wurzeln klar zu erkennen ist. Insgesamt besteht im Spross keine sichere Korrelation zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt, auch bei Außerachtlassung der niedrigsten P-Düngungsstufe.

b. Boden Kleinlinden

Der Zn-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigender P-Düngung ab. Es besteht für den gesamten Versuch eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt der Wurzel ($r= -0,38^{+}$), beim Spross ergeben sich für die einzelnen Ernten überwiegend negative Korrelationen, die aber im Einzelfall, wie bei der Wurzel, nicht signifikant sind. Erst die Zusammenfassung aller 10 Ernten führt zu einer hochsignifikanten negativen Korrelation, auch unter Weglassung der P_o-Stufe. Auf dem Boden Annerod ist insgesamt also kein Einfluss der P-Düngung auf den Zn-Gehalt des Sprosses vorhanden, auf dem Boden Kleinlinden dagegen haben steigende P-Gaben den Zn-Gehalt der Weizensprosse gesenkt. Auf Grund der Bodenreaktion, wie sie nach Versuchsende ermittelt wurde, wäre eher ein gegenteiliges Ergebnis zu erwarten gewesen (Tabelle k).

Tabelle k: pH-Werte bei Winterweizen im Bodenkulturversuch Boden Kleinlinden

H_2O

	I	II	III	IV	V
3.Ernte	6,65	6,65	6,66	6,74	6,83
4.Ernte	6,60	6,60	6,60	6,70	7,00
5.Ernte	6,25	6,11	5,99	6,50	6,56
6.Ernte	6,25	5,42	5,92	5,48	6,25
7.Ernte	6,31	5,70	5,75	5,73	5,90
8.Ernte	6,15	5,83	5,53	5,49	6,21
9.Ernte	5,79	5,74	5,62	5,90	6,18
10.Ernte	5,88	5,89	6,00	6,31	6,34
Mittelwerte	6,24	5,87	6,01	5,86	6,48

n/1 KCl

	I	II	III	IV	V
3.Ernte	5,23	5,44	5,47	5,73	6,11
4.Ernte	5,50	4,97	5,20	5,70	5,90
5.Ernte	5,52	5,24	5,12	5,79	5,92
6.Ernte	5,22	4,30	4,58	4,34	5,35
7.Ernte	5,08	4,59	4,58	4,72	4,98
8.Ernte	4,86	4,68	4,42	4,51	5,22
9.Ernte	4,64	4,61	4,57	4,80	5,39
10.Ernte	4,83	4,83	4,96	5,23	5,38
Mittelwerte	5,11	4,83	4,86	5,10	5,53

Es muss deshalb angenommen werden, dass Unterschiede in der Textur beider Böden die wesentliche Ursache für die unterschiedliche Phosphatwirkung gewesen sind. Der Boden Kleinlinden ist, wenn auch als lehmiger Sand charakterisiert, doch wesentlich kolloidreicher als Boden Annerod.

Von der 8. Ernte an war es möglich, die Körner zu isolieren, so dass bei drei Ernten deren Gehalt an Mikronährstoffen bestimmt werden konnte. Hier kommt es bei beiden Böden zu dem gleichen Befund, dass mit steigender P-Düngung der Zn-Gehalt gesenkt wird. Besonders groß ist hier die Abnahme von der P_o-Stufe zur P_1-Stufe, aber bis zur höchsten P-Stufe bleibt die gleiche Tendenz erhalten. Die Abnahme des Zn-Gehaltes im Korn mit steigender P-Düngung ist stärker als sie bei Boden Kleinlinden im Sproß beobachtet wurde. Das spricht dafür, dass steigende P-Gaben bzw. steigende P-Gehalte vor allem den Transport von Zink aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen. Noch deutlicher tritt dies bei den Pflanzen auf Boden Annerod in Erscheinung, wo steigende P-Düngung den Zn-Gehalt der Sprosse nicht sicher veränderte, den Zn-Gehalt im Korn aber senkte.

Die Frage, auf welche Weise die Verlagerung des Zinks in das Korn bei hoher P-Düngung bzw. bei hohen P-Gehalten gehemmt wird, kann nicht sicher beantwortet werden. Ob es sich um eine einfache chemische Bindung des Zinks in der Zelle durch überschüssiges Phosphat handelt oder ob hohe Phosphatgehalte im Sproß auf andere Weise den Transport

einzelner Nährstoffe in die generativen Organe erschweren oder hemmen, ist eine bisher offene Frage.
Es besteht eine gewisse Analogie zu den Befunden, dass hohe Phosphatgaben bzw. hohe Phosphatgehalte auch den Zn-Transport aus der Wurzel in den Sproß hemmen können, wie es z.T. auch bei den eigenen Versuchen (Tab. 12 - 20 und Abb. 11) beobachtet werden konnte.
Zusammenfassend läßt sich für Zink sagen, dass steigende Gaben von MCP den Zn-Gehalt der Wurzel erhöht haben. Bei Verabreichung von DCP ist eher eine Zn-Zunahme in den Wurzeln zu verzeichnen als eine Abnahme. Beim Spross nimmt der Zn-Gehalt mit steigenden P-Gaben sowohl in Form von MCP als auch von der DCP leicht ab; da aber nur eine einzige gesicherte negative Korrelation zwischen DCP-Düngung und Zn-Gehalt der Wurzel besteht, fragt es sich, ob eine Verallgemeinerung zulässig ist, zumal diese Korrelation anzeigt ($r= -0,38^{++}$), dass auch andere Faktoren sehr an ihrem Zustandekommen beteiligt sind. Die Ergebnisse sprecher aber z.T. dafür, dass hohe P-Gaben bzw. hohe P-Gehalte die Translokation von Zn aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen(Abb. 12).

Abb.11: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Kleinlinden
Zn-Gehalte (γ Zn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

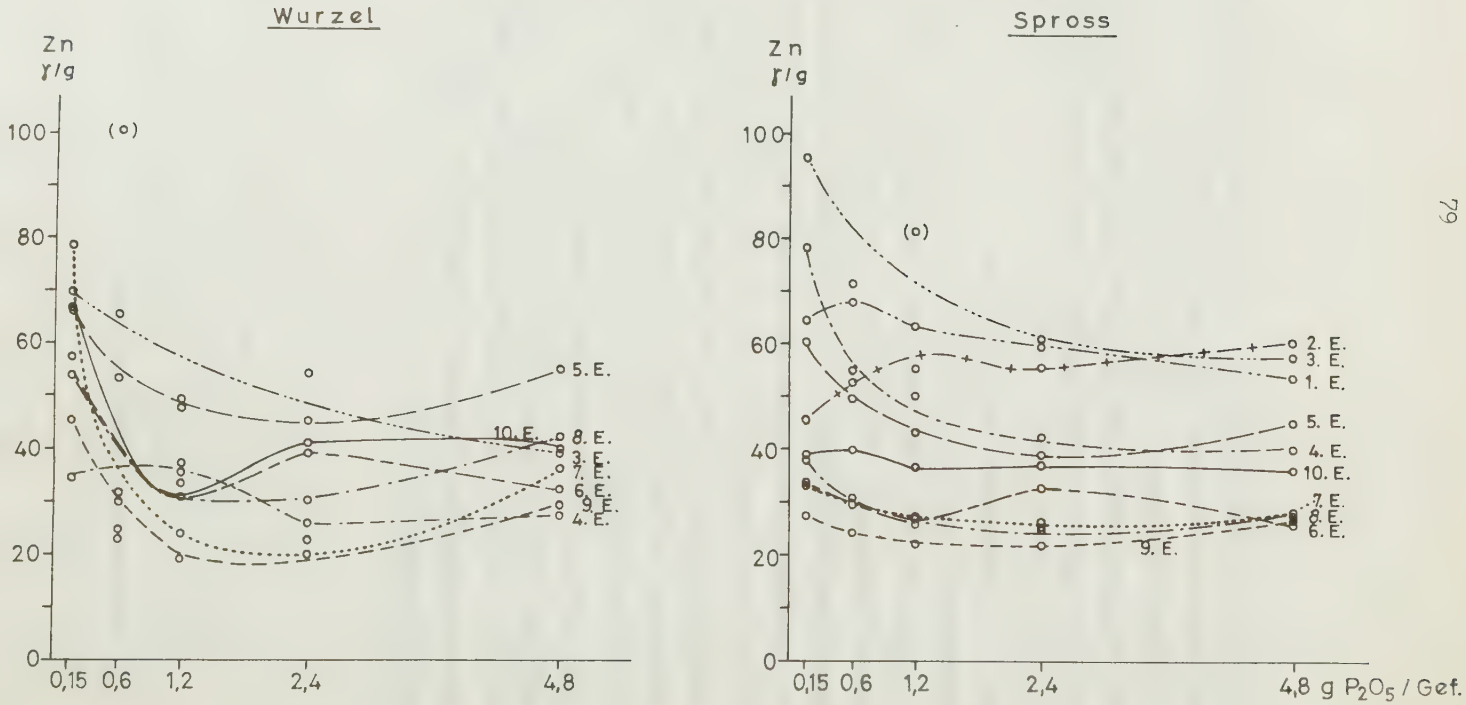
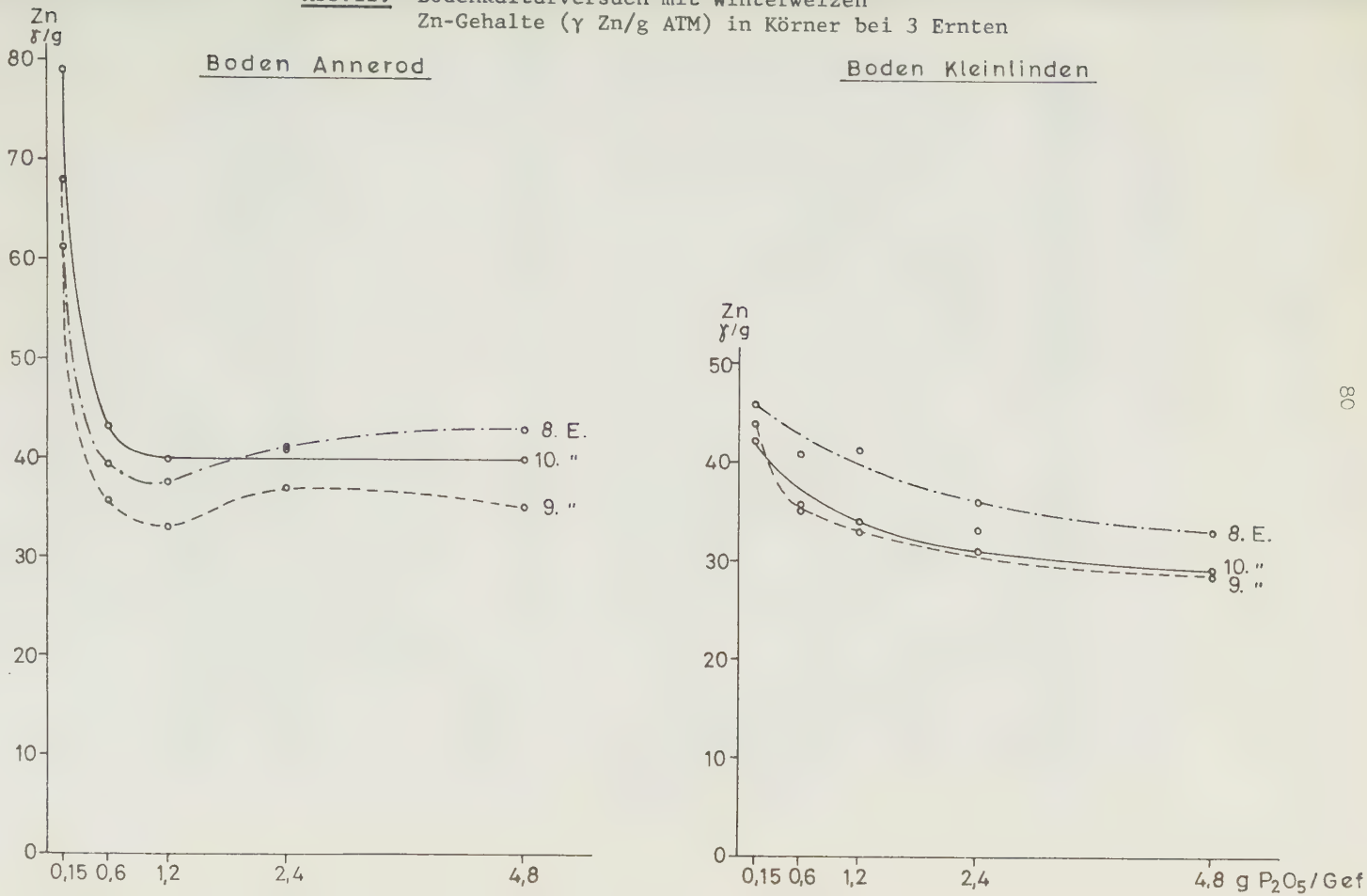


Abb.12: Bodenkulturversuch mit Winterweizen
Zn-Gehalte (γ Zn/g ATM) in Körner bei 3 Ernten



c. Mangan

ASO (1902) gibt folgende Einstufungsbereiche für die Versorgung zahlreicher Pflanzenarten mit Mn an:

Mangel	optimal	Depression
20 ppm	20-500 ppm	1000 ppm

JONES (1967) kommt zu nachstehender Einstufung bei Mais und zwar für Kolbenblatt zu Beginn der Blüte:

Mangel	15	ppm
niedrig	16 - 19	ppm
ausreichend	20 -150	ppm
hoch	151 -200	ppm
Überschuß	200	ppm

RUSS (1958) hat bei Hafer zur Zeit des Schossens folgendes beobachtet:

15	ppm Mn	starker Mangel
18	ppm Mn	schwacher Mangel
23-47	ppm Mn	kein Mangel

Vergleicht man die Angaben dieser Autoren mit den Gehalten, die in den eigenen Versuchen ermittelt wurden, so ist festzustellen, dass in sämtlichen Versuchen die Pflanzen ausreichend mit Mn versorgt waren.

1. Keimpflanzenversuche

Für den Mn-Gehalt von Gerstenkeimpflanzen in Abhängigkeit von der P-Düngung ergeben sich folgende Beziehungen:

1. und 2. Versuch:

Steigende P-Gaben in Form von DCP (Tab. 1 und 2) senken den Mn-Gehalt beträchtlich. Der Mn-Gehalt des Sprosses dagegen verändert sich kaum. Es ergibt sich eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel ($r= -8^{++}$) (Tab. c_1). Eine Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt des Sprosses besteht nicht (Tab. c_2). Erst bei Außerachtlassung der P_o-Stufe ist eine Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt des Sprosses im 2. Versuch gegeben ($r= +0,88^{++}$).

Tabelle c_1: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	-0,81++ (1.V.)	+0,33	-0,05			-0,73+ (1.V.)	+0,18	+0,54		
2	-0,74++ (2.V.)	+0,19	-0,51			-0,89++ (2.V.)	+0,18	+0,33		
3	-0,31 (3.V.)	+0,33	-0,50	-0,79	-0,62	-0,37 (3.V.)	+0,27	+0,31	-0,81	-0,82
4			-0,18	-0,62	-0,63			+0,74+	-0,47	-0,53
5			-0,36	-0,67	-0,33			+0,70+	-0,54	+0,15
6				-0,05	-0,70				+0,65	-0,68
7				-0,70	-0,51				+0,65	-0,18
8				-0,38	-0,56				+0,73	-0,30
9				-0,32	-0,42				+0,42	+0,33
10				-0,38	-0,57				+0,44	-0,34
		+0,28	-0,38++	-0,50++	-0,46++		+0,20	+0,50++	-0,26	-0,32

Tabelle c_2: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt im Sproß

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	+0,08 (1.V.)	+0,27	$+0,88^{+}$	-0,86	-0,84	-0,26 (1,V.)	+0,37	$+0,94^{+}$	$-0,95^{+}$	-0,92
2	+0,41 (2.V.)	+0,39	$+0,95^{++}$	-092^{+}	-0,71	$+0,88^{++}$ (2.V.)	$+0,69^{+}$	$+0,93^{++}$	-0,89	-0,65
3	$-0,53^{+}$ (3.V.)	-0,01	$+0,78^{++}$	$-0,90^{+}$	-0,56	$-0,88^{++}$ (3.V.)	+0,14	$+0,63^{+}$	-0,89	$-0,98^{+}$
4			$+0,86^{++}$	-0,70	-0,72			$+0,80^{++}$	-0,85	-0,82
5			+0,15	-0,52	-0,72			+0,48	-0,38	-0,73
6				-0,64	-0,71				-0,80	-0,85
7				-0,54	$-0,88^{+}$				-0,29	-0,84
8				-0,71	$-0,88^{+}$				-0,81	-0,85
9				-0,76	-0,78				-0,77	-0,69
10				-0,70	-0,95				-0,59	$-0,98^{+}$
		+0,23	$+0,74^{++}$	$-0,68^{++}$	$-0,60^{++}$		$+0,42^{+}$	$+0,73^{++}$	$-0,70^{++}$	$-0,76^{++}$

3. Versuch:

Steigende P-Gaben in Form von MCP (Tab. 3) beeinflussen sowohl den Mn-Gehalt der Wurzel als auch der des Sprosses in einer bemerkenswerten Weise. Mit Steigerung der P-Gaben von 0 auf 300 mg P_2O_5 nimmt sowohl der Mn-Gehalt der Wurzel als auch der des Sprosses deutlich zu. Von 600 bis 1200 mg P_2O_5 an fällt der Mn-Gehalt in Sproß und Wurzel wieder stark ab. Insgesamt wird für die P-Düngung und Mn-Gehalt des Sprosses eine signifikante negative Korrelation ermittelt ($r= -0,53^{+}$). Es fragt sich, ob bei diesem Versuch, wo die Mn-Gehalte mit steigenden P-Stufen zuerst erhöht, dann aber gesenkt werden, eine zusammenfassende Korrelationsrechnung erlaubt ist.
Aus der Tabelle g geht hervor, dass mit Steigerung der P-Düngung (0-1200 mg P_2O_5 als MCP) der pH-Wert ständig abnimmt. Es ist jedoch bekannt, dass die Mn-Aufnahme bzw. der Mn-Gehalt der Pflanzen stark vom pH-Wert des Nährsubstrats abhängig ist. Es stellt sich die Frage, warum der Mn-Gehalt mit abnehmendem pH-Wert nicht zugenommen hat. Wie Tabelle g zeigt, liegt der pH-Wert zwischen 9,13 und 6,91. HEINTZE (1968) stellte fest, dass Mn im Bereich zwischen pH 6,5 bis 9,0 nahezu vollständig ausgefällt wird. Bei pH-Werten in diesem Bereich kann deshalb keine wesentliche Veränderung der Mn-Aufnahme eintreten.

Die Ergebnisse bei Gerstenkeimpflanzen lassen sich dahingehend zusammenfassen:
Im Gegensatz zum Mn-Gehalt des Sprosses verringert sich der Mn-Gehalt der Wurzel mit steigenden P-Gaben in Form von

DCP beträchtlich. Eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel besteht in diesem Falle.
Mit Steigerung der P-Gaben von 0 auf 300 mg P_2O_5 als MCP nimmt der Mn-Gehalt von Wurzel und Sproß deutlich zu.
Die P-Gaben von 600 mg P_2O_5 als MCP beeinflusst kaum den Mn-Gehalt. Der Mn-Gehalt nimmt bei der P-Gabe von 1200 mg P_2O_5 als MCP sogar leicht ab. Eine Depression auf den Ertrag der Keimpflanzen durch höhere P-Dosierungen konnte nicht beobachtet werden.

2. Wasserkulturversuch

Eine Aussage über die Beziehung zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Gerstenkeimpflanzen anhand der Gehalts- und Entzugstabellen ist schwer zu machen. Es soll deshalb mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten eine Interpretation der Ergebnisse versucht werden. Es besteht keine Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt sowohl in der Wurzel als auch im Spross und zwar weder für die einzelnen drei Ernten noch für den gesamten Versuch. Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe besteht aber im Spross bei der 2. Ernte ($r = +0{,}69^+$) und für den gesamten Versuch ($r = +0{,}42^+$) eine signifikante positive Korrelation. Dies ist auf den relativ hohen Mn-Gehalt bei der P_o-Stufe zurückzuführen. Aus der Tabelle c_2 geht hervor, dass bei Außerachtlassung der P_o-Stufe die Korrelationskoeffizienten zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt des Sprosses für die einzelnen Ernten stärker positiv werden, so dass sich, wie bereits erwähnt, für die

2. Ernte und zusammenfassend für den ganzen Versuch eine gesicherte positive Korrelation ergibt. Aus der Tabelle h geht hervor, dass die Maispflanzen in der Wasserkultur in einem sauren Milieu aufgewachsen sind (pH-Werte um 4) (Tab.h).

Tabelle h: pH-Werte bei Mais im Wasserkulturversuch

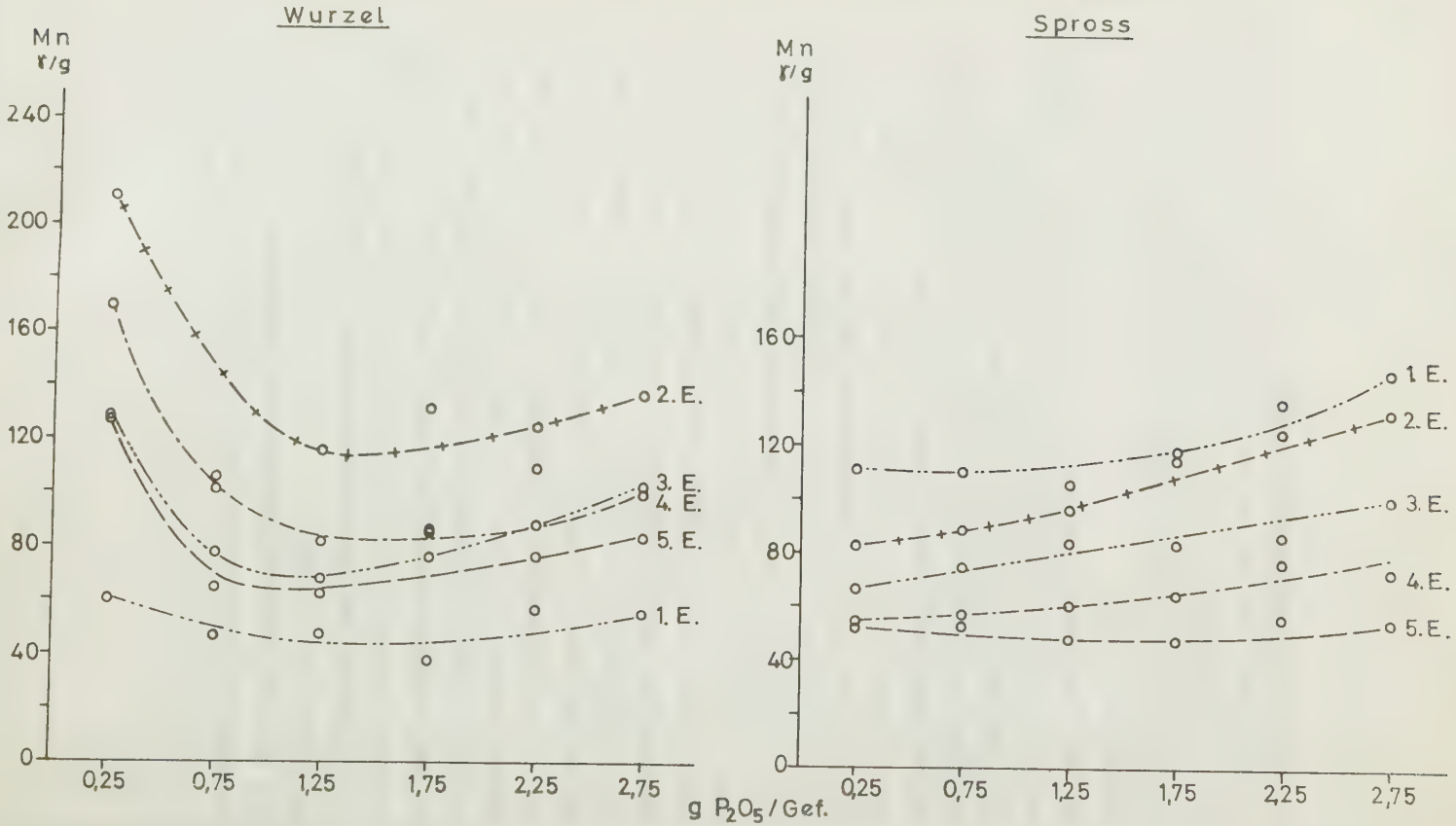
VR	1.Bestimmung am 1.7.1971	2.Bestimmung am 8.7.1971	3.Bestimmung am 20.7.1971	4.Bestimmung am 4.8.1971
I	4,02 3,08	3,73 3,40	3,42 5,71	5,15 3,43
II	3,80 4,01	3,41 5,00	4,63 3,48	3,10 3,05
III	3,90 3,75	3,40 3,39	3,53 5,30	5,93 3,60
IV	3,87 4,12	3,57 4,80	6,13 3,63	3,46 3,23
V	3,92 3,81	4,22 3,50	5,95 5,67	5,58 3,33
VI	3,98 4,05	4,95 6,65	4,55 3,56	3,20 3,05

In der Wasserkultur sind solche niedrigen pH-Werte nicht als ungünstig zu beurteilen. Die tabelle h zeigt weiterhin, dass die steigende P-Konzentration den pH-Wert kaum beeinflusst hat, so dass angenommen werden kann, dass der pH-Wert der Nährlösung keinen nennenswerten Einfluss auf die Mn-Aufnahme bzw. auf den Mn-Gehalt hat, sondern dass die beobachteten Unterschiede auf die veränderten P-Konzentrationen zurückzuführen sind.

3. Sandkulturversuch (Abb. 13)

Ein Beispiel dafür, wie sehr, die Mn-Gehalte in der P_o-Stufe die Korrelation beeinflussen können, zeigen die Sandkulturversuche.
Aus den Tabellen 7 bis 11 ist ersichtlich, dass insgesamt bei steigenden P-Gaben der Mn-Gehalt der Wurzel abnimmt. Läßt man aber die niedrigste P-Düngungsstufe unberücksichtigt, so ist diese Aussage nicht mehr berechtigt, d.h. der Mn-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigenden P-Gaben nicht mehr, sondern ab der 3. P-Düngungsstufe sogar allmählich zu, wie auch aus den entsprechenden Kurven klar zu ersehen ist. Zuerst besteht also eine signifikante negative Korrelation ($r= -0,38^{++}$) zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel. Ohne die P_o-Stufe ergibt sich statt dessen eine signifikante positive Korrelation ($r= +0,50^{++}$).
Im Gegensatz zur Wurzel nimmt der Mn-Gehalt des Sprosses bei steigenden P-Gaben zu. Eine signifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt des Sprosses besteht für die meisten Einzelernten, besonders für den gesamten Versuch ($r= +0,74^{++}$), und bei Außerachtlassung der P_o-Stufe bleibt sie weiterhin unverändert erhalten ($r=+0,73^{++}$)
Zusammenfassend ist für den Sandkulturversuch zu sagen, dass wenn man vom extremen P-Mangelbereich bei der Wurzel absieht, steigende P-Gaben in Form von MCP den Mn-Gehalt der Maispflanzen erhöht haben.
Wie schon bei der Besprechung von Zn erwähnt, weisen die einzelnen Versuchsreihen und die verschiedenen Ernten des

Abb.13: Sandkulturversuch mit Mais (steigende MCP-Gaben)
Mn-Gehalte (γ Mn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 5 Ernten



Sandkulturversuchs neutrale bis schwach alkalische Reaktion auf. Läßt man die P_o-Stufe unberücksichtigt, so haben steigende P-Gaben in Form von MCP den Mn-Gehalt der Maispflanzen erhöht. Dies stimmt mit den Befunden anderer Autoren überein, dass bei dieser Bodenreaktion steigende P-Gaben in Form von MCP die Mn-Aufnahme erhöhen.

4. Bodenkulturversuch

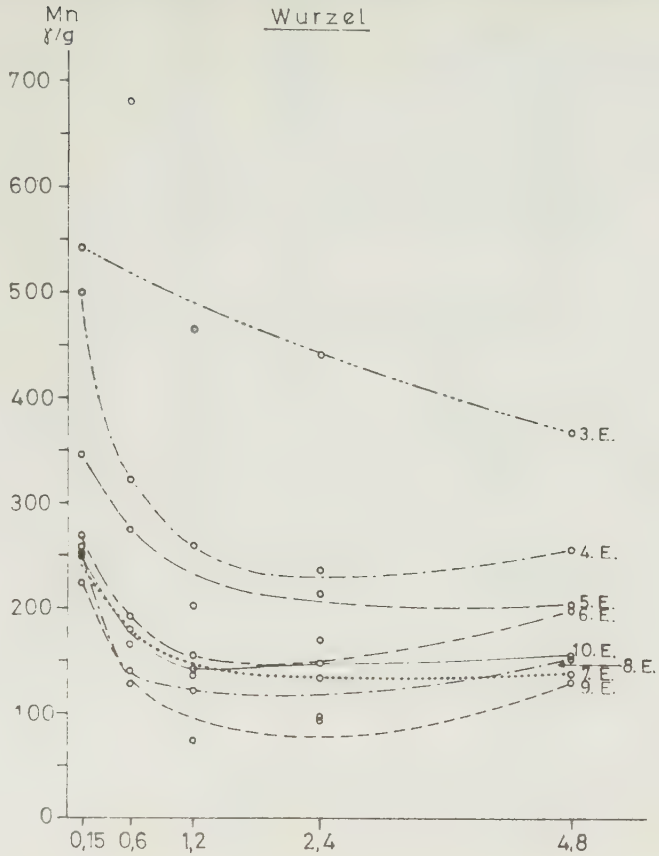
4.1. Boden Annerod

Aus den Tabellen 12 bis 20 geht hervor, dass bei steigenden P-Gaben sowohl der Mn-Gehalt der Wurzel als auch der des Sprosses abnimmt. Bemerkenswert ist, dass diese Tendenz der Abnahme des Mn-Gehaltes zwischen der ersten und zweiten P-Düngungsstufe am deutlichsten ist. Dies ist sehr wahrscheinlich auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen, wie es auch aus den Tabellen 34-42 hervorgeht. Hier zeigt es sich, dass die Pflanzen der P_o-Stufe den niedrigsten Mn-Entzug aufweisen, obwohl sie den höchsten Mn-Gehalt haben.

Es besteht für den gesamten Versuch eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel ($r= -0,50^{++}$) und der des Sprosses ($r= -0,68^{++}$). Für die einzelnen Ernten ist aber eine solche Korrelation nur in 2 Fällen gegeben. Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe besteht keine sichere Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel, beim Spross bleibt die negative Korrelation unverändert erhalten ($r= -70^{++}$).

Es besteht keine Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Körner sowohl mit als auch ohne die P_o-Stufe. Die mit den Korrelationskoeffizienten gefundenen Beziehungen zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt bei Winterweizen finden ihre Bestätigung in der Abbildung 14, diese lassen deutlich erkennen, dass die Korrelationen in der Hauptsache durch die Mn-Werte der niedrigsten P-Stufen bestimmt werden, während bei den hohen P-Stufen sich die Mn-Gehalte kaum noch ändern.
Es ist aber wichtig zu erwähnen, dass der pH-Wert beim Boden Annerod keine unbedeutende Rolle für die Mn-Aufnahme spielt. Aus der Tabelle j geht hervor, dass sich bei steigendem DCP der pH Wert erhöht, was auf die Verfügbarkeit des Mangans im Boden einen Einfluss ausüben vermag.

Abb. 14. Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Annerod
Mn-Gehalte (γ Mn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten



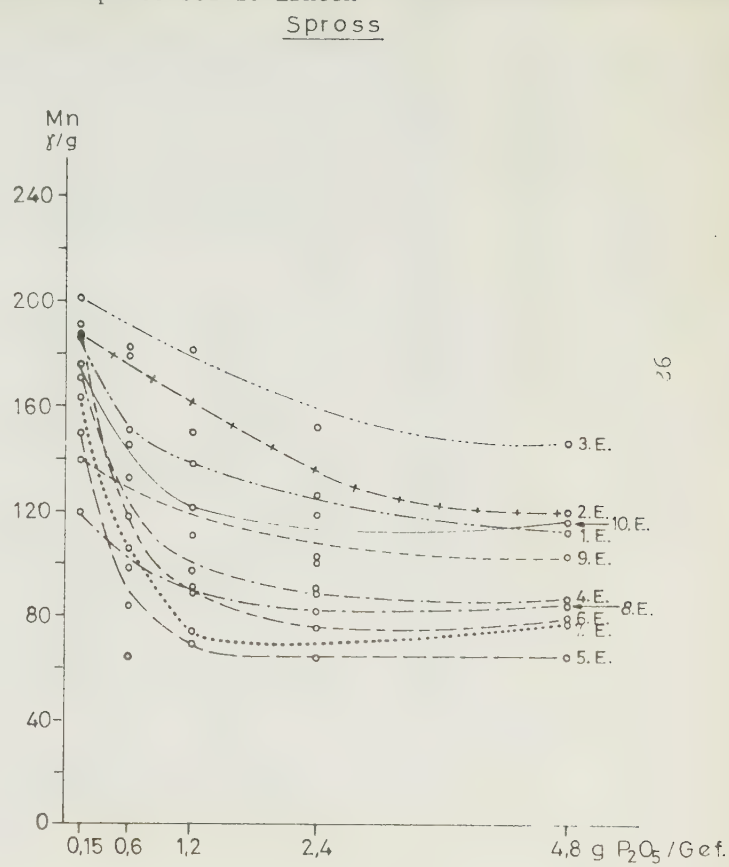


Tabelle j: pH-Werte bei Winterweizen im Bodenkulturversuch Boden Annerod

	H_2O				
	I	II	III	IV	V
3.Ernte	6,73	6,95	6,95	7,01	7,06
4.Ernte	6,20	6,70	6,80	6,80	7,07
5.Ernte	6,10	6,70	6,77	6,97	6,64
6.Ernte	6,15	6,20	6,69	6,51	6,47
7.Ernte	6,20	6,50	6,56	6,60	6,85
8.Ernte	6,37	6,59	6,47	6,42	6,52
9.Ernte	6,41	6,44	6,63	6,30	6,49
10.Ernte	6,76	6,41	7,22	6,92	6,99
Mittelwerte	6,37	6,57	6,77	6,69	6,76

	n/l KCl				
	I	II	III	IV	V
3.Ernte	6,09	6,34	6,34	6,41	6,53
4.Ernte	5,77	6,20	5,90	6,09	6,40
5.Ernte	5,62	6,22	6,20	6,62	6,31
6.Ernte	5,66	5,88	6,00	6,19	6,16
7.Ernte	5,58	5,87	6,06	5,98	6,60
8.Ernte	5,76	6,12	5,92	5,89	6,10
9.Ernte	5,80	5,65	6,17	5,70	6,07
10.Ernte	6,13	5,90	6,90	6,63	6,78
Mittelwerte	5,80	5,99	6,19	6,19	6,37

4.2. Boden Kleinlinden

Mit steigenden P-Gaben nimmt sowohl der Mn-Gehalt der Wurzel als auch der des Sprosses ab (Tab. 12 - 20, Abb. 15). Es besteht für den gesamten Versuch eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Wurzel ($r= -0,46^{++}$). Für die einzelnen Ernten ist aber eine solche Korrelation nicht gegeben. Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe besteht die negative Korrelation nicht mehr ($r= -0,32$).

Beim Spross besteht ebenfalls eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt ($r= -0,60^{++}$). Für die einzelnen Ernten ist aber eine solche Krrelation nur in 3 Fällen gegeben. Auch bei Weglassung der P_o-Stufe bleibt die signifikante negative Korrelation unverändert erhalten ($r= -70^{++}$). Für die einzelnen Ernten wird aber eine solche Korrelation nur noch in einem Fall angetroffen. Ebenfalls besteht für den gesamten Versuch eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt der Körner ($r= -0,51^{+}$). Für die einzelnen Ernten ist aber eine solche Korrelation nicht gegeben (Tab. f).

Abb.15: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Kleinlinden
Mn-Gehalte (γ Mn/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

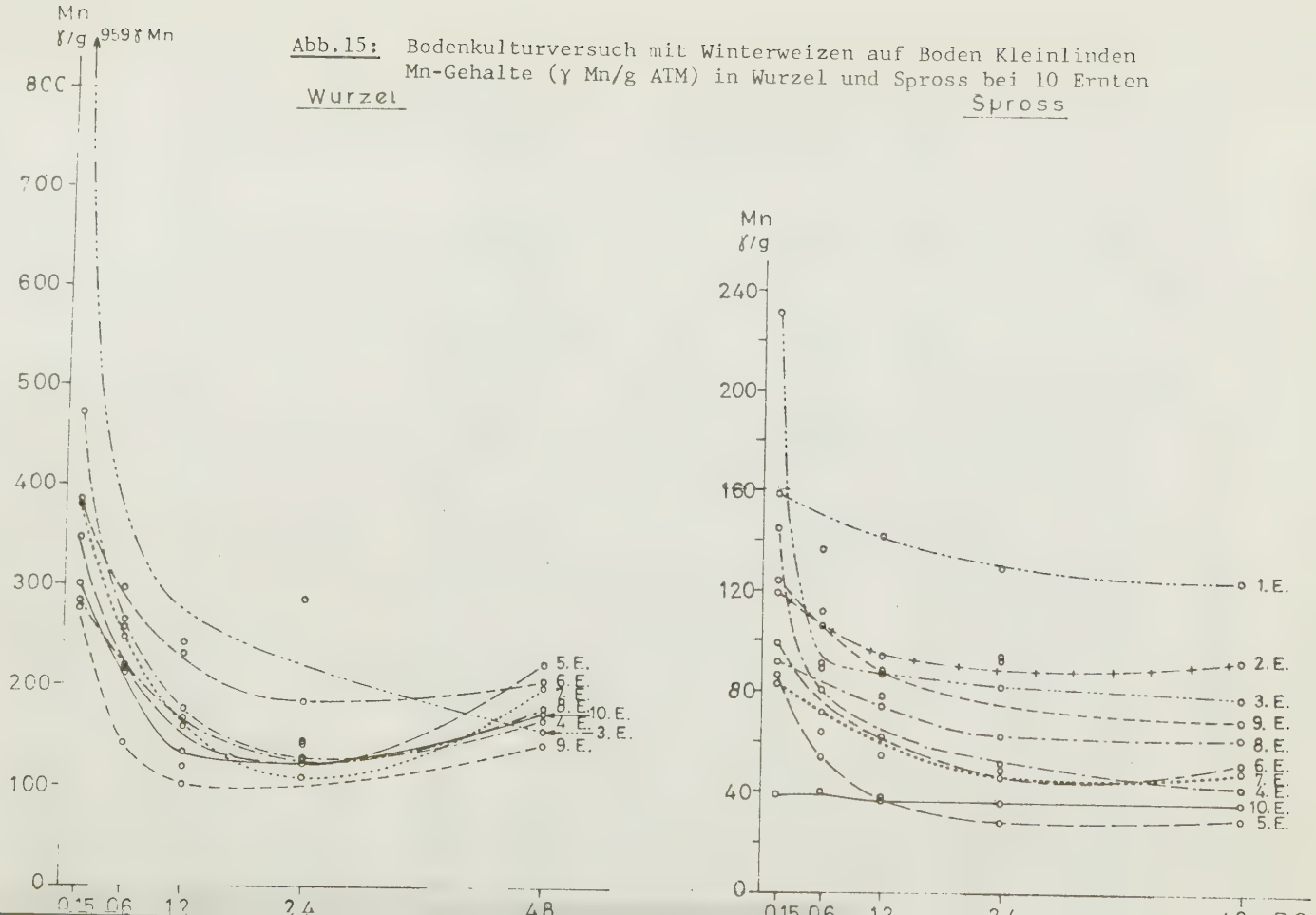


Tabelle f: Korrelationskoeffizienten (r) im Gefäßversuch mit Winterweizen ("Diplomat")

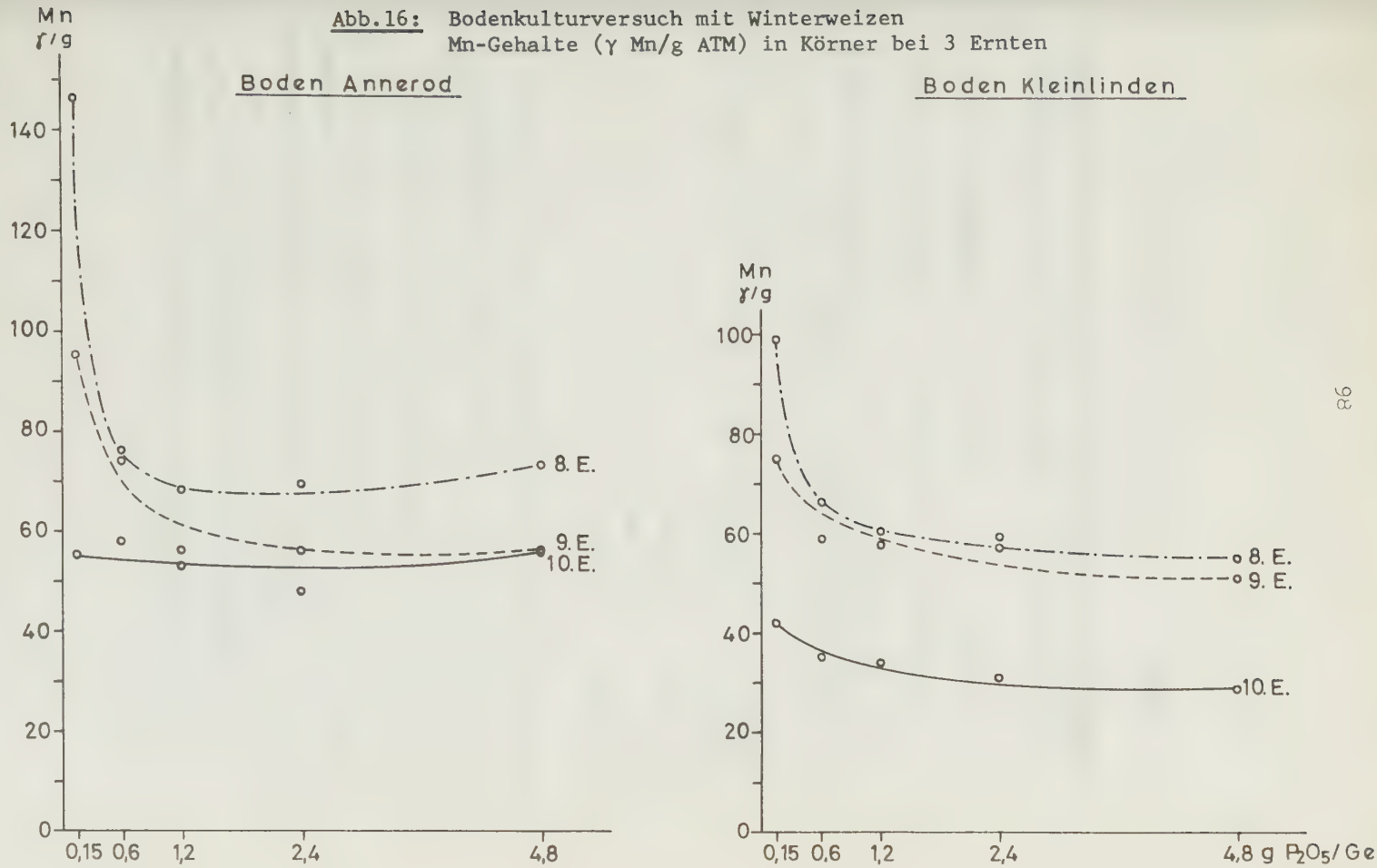
Ernte	Boden Annerod					Boden Kleinlinden				
	Körner mit 1. Düngungsstufe					Körner mit 1. Düngungsstufe				
	P	Zn	Mn	Cu	Fe	P	Zn	Mn	Cu	Fe
8	+0,68	-0,33	-0,49	-0,75	+0,23	+0,61	-0,93^{+}	-0,66	-0,86	-0,92^{+}
9	+0,88^{+}	-0,50	-0,68	-0,82	+0,26	+0,74	-0,82	-0,78	-0,58	-0,41
10	+0,95^{+}	-0,54	-0,12	-0,85	+0,10	+0,85	-0,84	+0,01	-0,71	-0,27
8-10	+0,84^{++}	-0,46	-0,44	-0,77^{++}	-0,19	+0,72^{++}	-0,86^{++}	-0,51^{+}	-0,71^{++}	-0,48
	ohne 1. Düngungsstufe					ohne 1. Düngungsstufe				
8	+0,87	+0,94	+0,21	-0,84	+0,26	+0,55	-0,96^{+}	-0,86	-0,91	-0,95^{+}
9	+0,91	+0,08	-0,59	-0,77	+0,22	+0,62	-0,97^{+}	-0,92	-0,45	+0,35
10	+0,93	-0,61	-0,06	-0,94	+0,92	+0,80	-0,97	+0,66	-0,80	+0,05
8-10	+0,90^{++}	+0,25	-0,27	-0,83^{++}	+0,37	+0,65^{+}	-0,95^{++}	-0,28	-0,73^{++}	-0,25

Läßt man aber die P_o-Stufe außeracht, dann besteht diese Korrelation auch für den gesamten Versuch nicht mehr (r= -0,28), siehe auch Abb. 16. Beim Boden Kleinlinden tritt bezüglich des pH-Wertes ein ähnliches Verhalten wie beim Boden Annerod in Erscheinung, d.h. steigende P-Gaben in Form von DCP den pH-Wert erhöhen, was auf die Verfügbarkeit des Mn im Boden und damit auf die Mn-Aufnahme durch die Wurzel nicht ohne Einfluss geblieben ist (Tab. k).

Die Versuchsergebnisse bestätigen somit die Befunde anderer Autoren, dass hohe P-Gaben in Form von DCP den pH-Wert erhöhen, und dass es damit zu einer verminderten Mn-Aufnahme kommt.

Zusammenfassend läßt sich über die Beziehung zwischen P-Düngung und Mn-Versorgung der Pflanzen sagen, dass hierbei die Form des P-Düngers von wesentlicher Bedeutung ist. Die Versuche haben gezeigt, dass steigende Mengen von DCP in den meisten Fällen den Mn-Gehalt von Wurzel und Spross senken, dass im normalen P-Versorgungsbereich steigende Gaben von MCP zu erhöhter Mn-Aufnahme in Wurzel und Spross führen. Diese Wirkungen der P-Düngung scheinen aber keine direkten zu sein, sondern sind Folge des unterschiedlichen Einflusses der einzelnen P-Dünger auf die Bodenreaktion.

Abb.16: Bodenkulturversuch mit Winterweizen
Mn-Gehalte (γ Mn/g ATM) in Körner bei 3 Ernten



d. Kupfer

CHAPMAN (1967) gibt für zahlreiche Pflanzenarten folgende Einstufungsbereiche bezüglich der Versorgung mit Cu an:

Mangel	Normal	Depression
4 ppm	5-20 ppm	20 ppm

Nach JONES (1967) können für Mais, Kolbenblatt zu Beginn der Blüte, folgende Bereiche angenommen werden:

mangel	2	ppm
niedrig	3-5	ppm
ausreichend	6-20	ppm
hoch	21-50	ppm
Überschuss	50	ppm

Nach RUSS (1958) ist mit schwachem Cu-Mangel bei Haferpflanzen zu rechnen, wenn zum Zeitpunkt der Bestockung der Gehalt der oberirdischen Pflanzenteile niedriger als 6-7 ppm in der Trockensubstanz ist und damit der Entzug in einem Mitscherlichgefäß voraussichtlich unter 300 µg Cu liegen wird. Die Cu-Gehalte in den vorliegenden Versuchen lassen erkennen, dass Gerstenkeimpflanzen und Winterweizen mit Cu ausreichend versorgt waren. Dagegen ist die Versorgung der Maispflanzen im Sandkulturversuch als hoch zu bezeichnen. Im Wasserkulturversuch kann z.T. von Cu-Überschuss gesprochen werden.

1. Keimpflanzenversuche

In den Tabellen 1, 2 und 3 ergibt sich für Cu folgendes Bild:

1. und 2. Versuch:

Steigende P-Gaben als DCP beeinflussen den Cu-Gehalt der Wurzel kaum (Tab, d_1 und d_2). Im Spross nimmt der Cu-Gehalt dagegen deutlich zu ($r = +58^{++}$). Diese Zunahme im Spross kann allerdings bei dem II. Versuch (0-1200 mg P_2O_5 als DCP) nicht festgestellt werden. Eine Depression im Wuchs bei den höheren P-Gaben ist nicht zu beobachten.

Tabelle d_1: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt der Wurzel

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	-0,16 (1.V.)	+0,88^{++}	+0,78			-0,31 (1.V.)	+0,84^{++}	+0,67^{+}		
2	+0,20 (2.V.)	+0,10	+0,55			+0,43 (2.V.)	+0,48	+0,64^{+}		
3	+0,76^{++}	-0,04	+0,88^{++}	+0,33	-0,54	+0,63^{++} (3.V.)	+0,16	+0,92^{++}	+0,05	-0,27
4			+0,72^{++}	+0,89^{+}	+0,78			+0,95^{++}	+0,88	+0,55
5			+0,85^{++}	+0,75	+0,25			+0,88^{++}	+0,64	+0,60
6				+0,29	-0,43				+0,61	+0,94
7				-0,43	-0,43				-0,22	+0,69
8				-0,63	-0,27				-0,73	+0,65
9				-0,40	-0,08				+0,26	+0,97^{+}
10				-0,48	-0,10				+0,69	+0,76
		+0,50^{++}	+0,74^{++}	-0,02	-0,46^{++}		+0,54^{++}	+0,82^{++}	+0,29	+0,54^{++}

Tabelle d_2: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt im Sproß

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	+0,58^{++} (1.V.)	-0,60^{+}	-0,71	+0,56	-0,39	+0,49 (1.V.)	-0,67^{+}	-0,90^{+}	+0,30	-0,79
2	+0,04 (2.V.)	-0,43	-0,10	+0,76	+0,04	-0,06 (2.V.)	+0,08	+0,28	+0,67	-0,29
3	-0,64^{++} (3.V.)	-0,22	-0,22	+0,51	+0,28	-0,79^{++} (3.V.)	-0,05	+0,63^{+}	+0,11	+0,60
4			+0,64^{+}	+0,61	-0,25			+0,58	+0,51	+0,40
5			-0,84^{++}	-0,75	-0,52			-0,71^{+}	-0,95	-0,20
6				-0,46	-0,70				-0,12	-0,61
7				-0,11	-0,71				-0,81	-0,84
8				-0,20	-0,55				+0,99^{++}	-0,26
9				+0,30	+0,24				+0,84	+0,31
10				+0,64	-0,39				+0,74	+0,20
		-0,41^{+}	-0,21	+0,13	-0,26		-0,25	-0,05	+0,39^{+}	-0,16

3. Versuch

Der Cu-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigenden P-Gaben (0-1200 mg $/_2O_5$ als MCP) beträchtlich zu, und es ergibt sich eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt der Wurzel, auch unter Weglassung der P_o-Stufe ($r = +0,76^{++}$ bzw. $r = +0,63^{++}$). Beim Spross wird eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt festgestellt ($r = -0,64^{++}$ bzw. $r= -0,79^{++}$). Da die P-Gehalte von Wurzel und Spross im Versuch mit MCP wesentlich höher liegen als bei den beiden Versuchen mit DCP, muss es hierauf zurückgeführt werden, dass der Transport des Kupfers aus der Wurzel in den Spross gehemmt worden ist.

Die Ergebnisse bei Gerstenkeimpflanzen lassen sich dahingehend zusammenfassen:

Der Cu-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigenden P-Gaben in Form von MCP im Gegensatz zur Düngung mit DCP beträchtlich zu. Steigende P-Gaben in Form von DCP beeinflussen kaum den Cu-Gehalt der Wurzel. Es besteht: eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt des Sprosses in dem einen Versuch mit DCP und eine hochsignifikante positive Korrelation in der Wurzel sowie eine hochsignifikante negative Korrelation im Spross im Versuch mit MCP.

2. Wasserkulturversuch

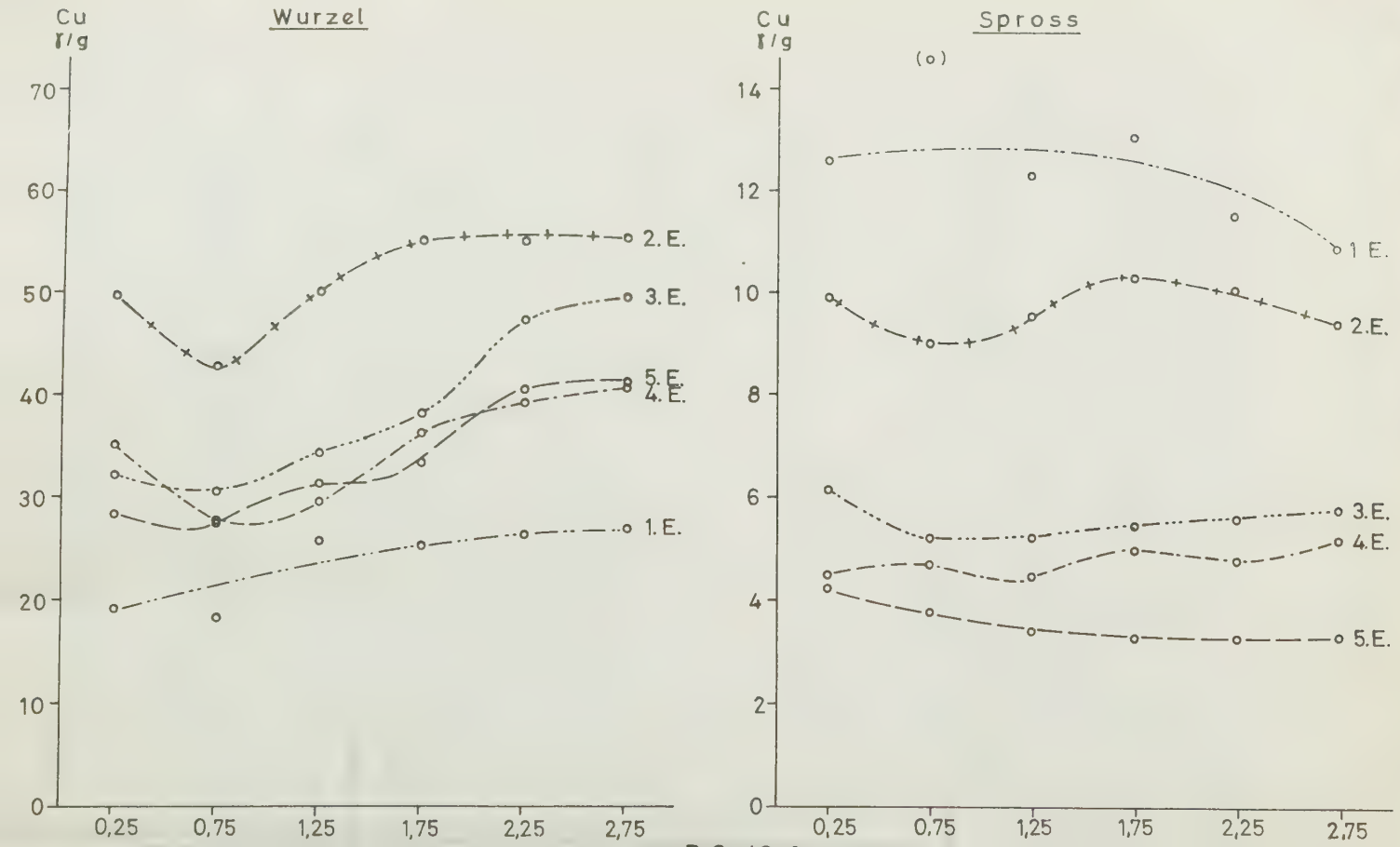
Aus den Tabellen 4-6 ist ersichtlich, dass nur bei der 1. Ernte mit steigenden P-Konzentrationen im Nährmedium der Cu-Gehalt der Wurzel zunimmt, bei der 2. und 3. Ernte jedoch weitgehend unverändert bleibt. Eine Korrelation zwischen P-Konzentration und Cu-Gehalt der Wurzel kann man

nur bei der 1. Ernte beobachten, was sich auch im Korrelationskoeffizienten für den ganzen Versuch widerspiegelt. Im Gegensatz zur Wurzel nimmt der Cu-Gehalt des Sprosses bei steigenden P-Konzentrationen leicht ab. Eine sichere negative Korrelation zwischen P-Konzentrationen des Nährmediums und Cu-Gehalt besteht für den Spross ebenfalls nur bei der 1. Ernte. Für den gesamten Versuch ist eine signifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt des Sprosses festzustellen. Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe ist die Korrelation nicht mehr gesichert.

3. Sandkulturversuch: (Abb. 17)

Bei steigenden P-Düngungsgaben nimmt der Cu-Gehalt der Wurzel bei allen 5 Ernten leicht zu (Tab. 7-11). Es besteht eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt der Wurzel bei den Ernten 3, 4 und 5. Signifikanz ist in der 1. Ernte nicht gegeben wegen der geringen Zahl von Stichproben (es handelt sich hier um Vereinzelungen). Es besteht eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen der Düngung und Cu-Gehalt der Wurzel für den gesamten Versuch ($r = +0{,}74^{++}$). Bei Außerachtlassung der P_o-Stufe bleibt die gesicherte negative Korrelation unverändert erhalten ($r = -0{,}82^{++}$). Im Cu-Gehalt des Sprosses treten bei Steigerung der P-Gaben keine eindeutigen Veränderungen auf. So besteht bei der 4. Ernte eine signifikante positive Korrelation ($r = +0{,}64^{+}$), die aber bei Weglassung der P_o-Stufe ihre Signifikanz verliert; bei der 5. Ernte ergibt sich eine hochsignifikante negative Korrelation ($r = -0{,}84^{++}$ bzw. $r = -0{,}71^{+}$). Bei Zusammenfassung

Abb. 17: Sa[illegible] (s[illegible] MCP-Gab[illegible])
Cu-Gehalte (γ Cu/g [illegible]) in Wurzel und Spross bei 5 Ernten



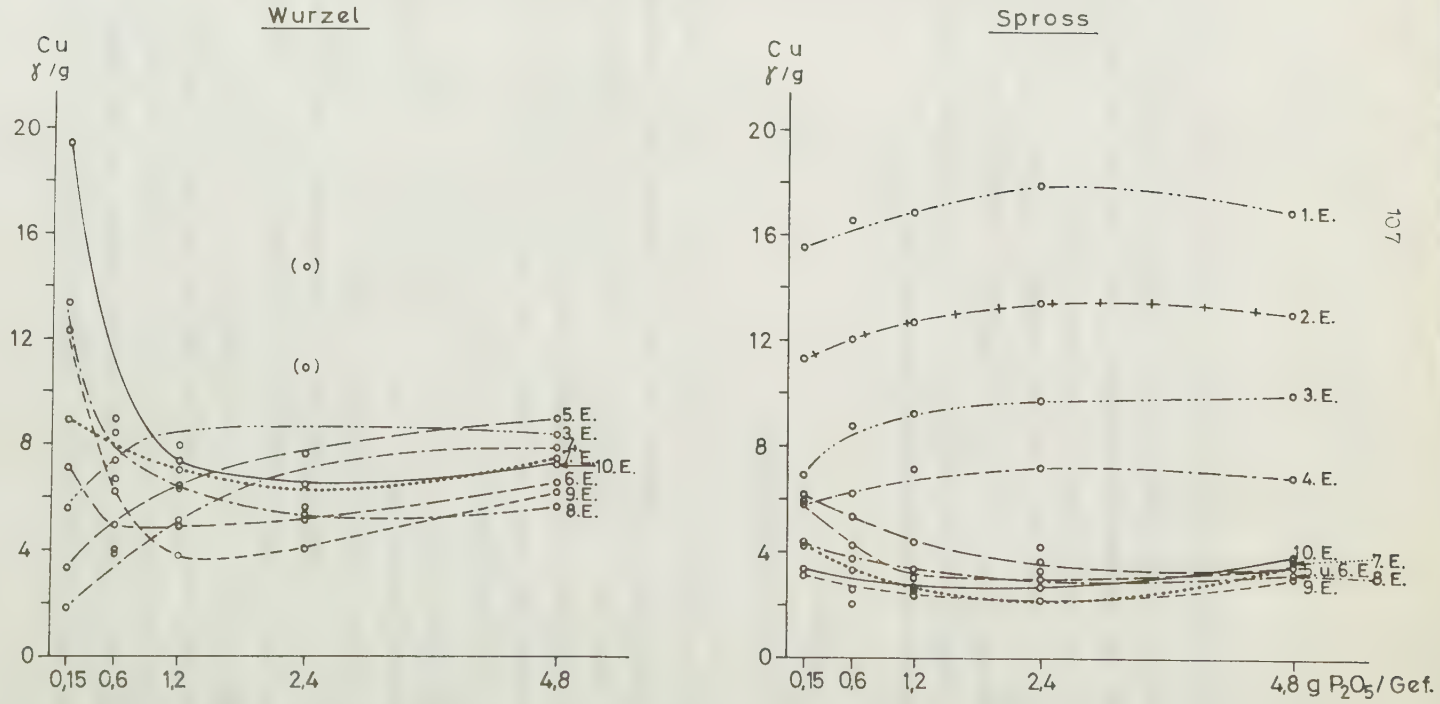
aller Ernten besteht keine Korrelation mehr. Es ergibt sich also ein ähnliches Bild wie im Keimpflanzenversuch und z.T. auch im Wasserkulturversuch, dass nämlich mit steigenden P-Gaben der Cu-Gehalt der Wurzel ansteigt, der des Sprosses aber abnimmt oder doch unverändert bleibt. Das ist gleichbedeutend damit, dass mitsteigender P-Düngung bzw. steigenden P-Gehalten in der Pflanze die Verlagerung des Kupfers aus der Wurzel in den Spross gehemmt ist.

4. Gefäßversuch

4.1. Boden Annerod

Aus den Tabellen 12 - 20 geht hervor, dass bei steigenden P-Gaben der Cu-Gehalt der Wurzel unregelmäßig verläuft. So zeigt der Cu-Gehalt der Wurzel mit steigenden P-Gaben bei den ersten Ernten ansteigende Tendenz, bei den folgenden Ernten eher eine fallende. Das geht auch aus der Abb. 18 und aus der Tabelle d_1 deutlich hervor.
Eine Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt der Wurzel besteht nicht, sei es mit oder ohne Einbeziehung der P_o-Stufe. Abb. 18 läßt klar erkennen, dass sich der Einfluss der P-Ernährung auf die Versorgung der Pflanze mit Cu vor allem vom Mangelbereich bis zum optimalen Versorgungszustand der Pflanze mit Phosphat, also bis etwa zur dritten P-Stufe auswirkt, von der optimalen Versorgungsstufe zu den hohen P-Stufen ändert sich der Cu-Gehalt der Wurzel kaum. Auch hier zeigt bei den ersten Ernten der Cu-Gehalt steigende, bei den nächsten Ernten fallende Tendenz. Die Veränderungen

Abb. 18: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Annerod
Cu-Gehalte (γ Cu/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

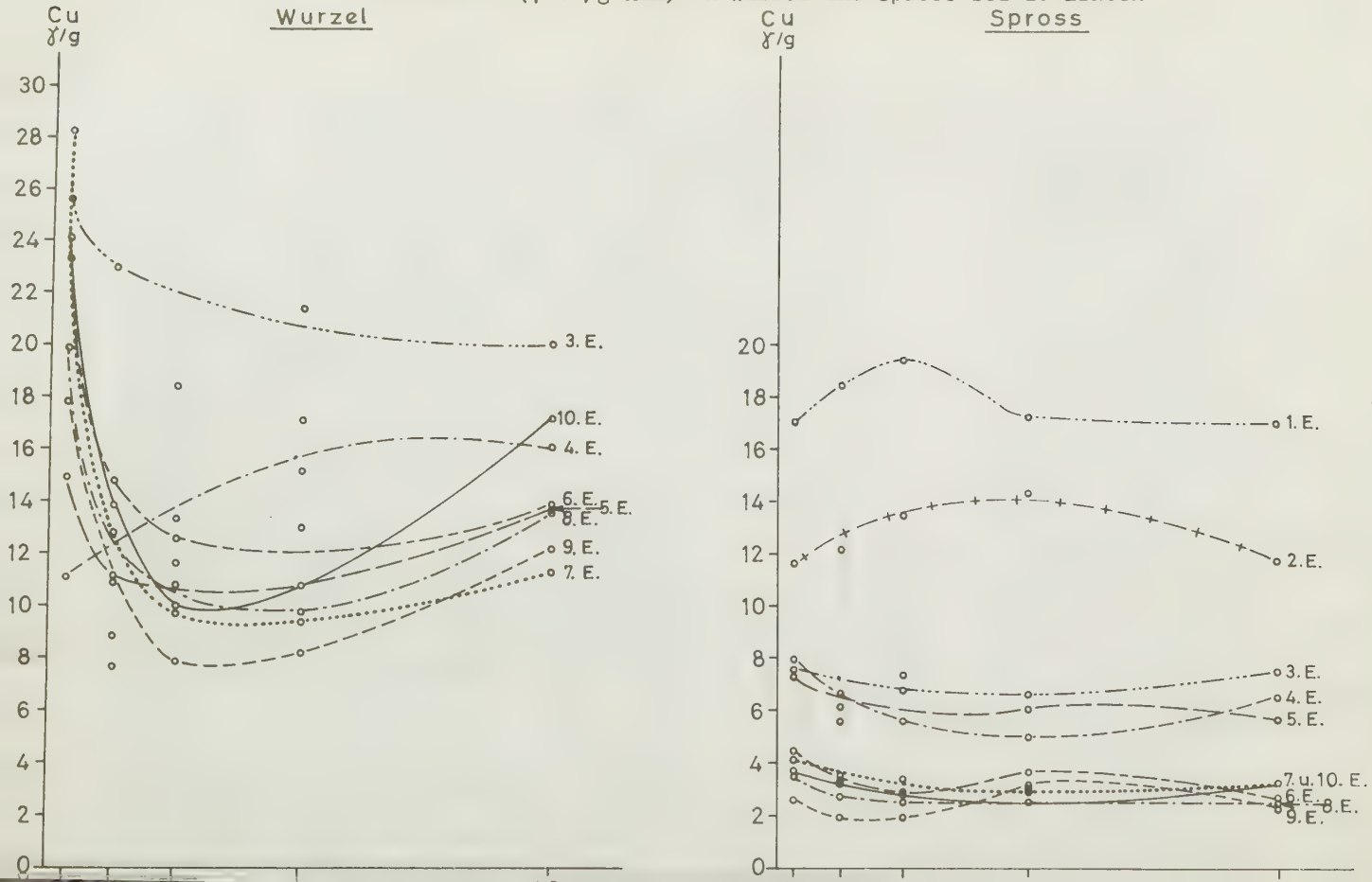


der Korrelationskoeffizienten (beim Vergleich mit und ohne P_o-Stufe) machen deutlich, wie stark die Werte der P_o-Stufe, bei denen relativ hohe Cu-Gehalte auf Grund eines Konzentrationseffektes vorliegen, eine Korrelation bestimmen können. Ohne die P_o-Stufe ergibt sich eine signifikante positive Korrelation zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt der vegetativen Organe ($r = +0,39^{+}$).

4.2. Boden Kleinlinden

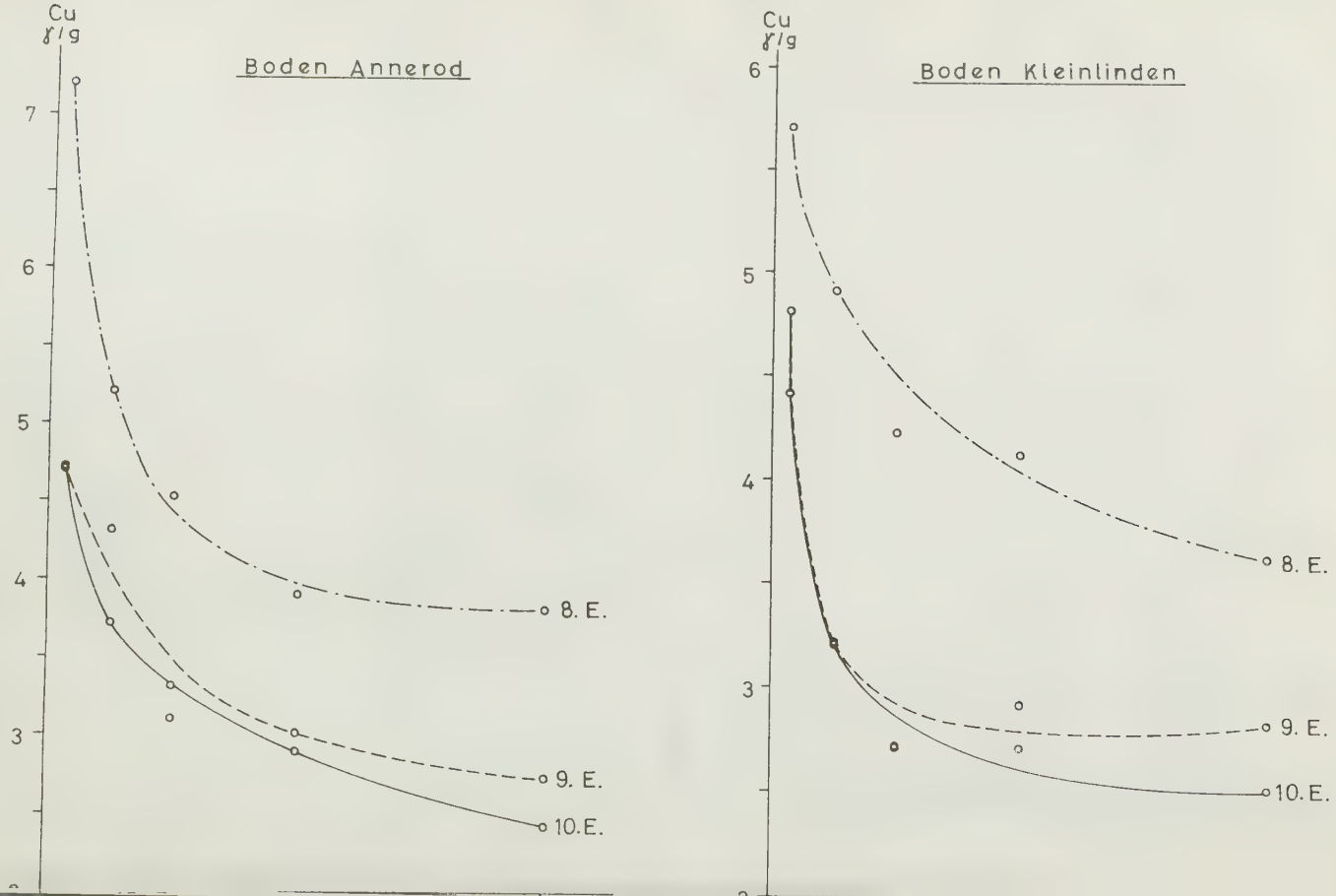
Wie auf dem Boden Annerod wird der Cu-Gehalt der Wurzel bei steigenden P-Gaben im Laufe der Vegetationszeit unterschiedlich beeinflusst. Auch hier zeigt bei den ersten Ernten eine ansteigende, dann eine fallende Tendenz wie es auch aus der Abb. 19 deutlich zu ersehen ist. In diesem Versuch wird der Einfluss der Cu-Werte in der P_o-Stufe besonders deutlich: Während bei Einbeziehung der P_o-Stufe eine hochsignifikante negative Korrelation besteht ($r= -0,46^{++}$) ist sie ohne die P_o-Stufe hochsignifikant positiv ($r = +0,54^{++}$). Auch hier handelt es sich in der P_o-Stufe um ausgesprochene P-Mangelpflanzen, in denen Kupfer über das normale Maß hinaus angereichert ist. In den vegetativen Organen der Weizenpflanzen besteht bei keiner einzelnen Ernte und auch nicht für den gesamten Versuch eine deutliche Beziehung zwischen P-Düngung und Cu-Gehalt. Das gilt auch bei Außerachtlassung der P_o-Stufe.
Anders sind die Verhältnisse beim Weizenkorn. Hier nimmt auf beiden Böden der Cu-Gehalt mit steigenden P-Gaben eindeutig ab. Bis zu einem gewissen Grad mag auch hier, vor allem in der P_o-Stufe ein Konzentrationseffekt eine Rolle

Abb.19: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Kleinlinden
Cu-Gehalte (γ Cu/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten



spielen, aber auch bei den hohen P-Stufen bleibt die gleiche Tendenz erhalten.
Ähnlich wie beim Zn scheinen hohe Phosphat-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze auch die Translokation von Cu aus den vegetativen in die generativen Organe zu hemmen.
Zusammenfassend läßt sich über die Beziehung zwischen P-Düngung und Cu-Versorgung der Pflanzen sagen, dass der Cu-Gehalt der Wurzel mit steigenden P-Gaben in Form von MCP zunimmt und der des Sprosses abnimmt. Der Einfluss der P-Düngung in Form von DCP wirkt sich auf die Versorgung der Pflanze mit Cu vor allem vom Mangelbereich bis zum optimalen Versorgungszustand der Pflanze mit Phosphat aus, in dem der Cu-Gehalt der Wurzel mit Steigerung der DCP-Gaben drastisch abnahm. Von der optimalen Versorgungsstufe zu den hohen P-Stufen ändert sich der Cu-Gehalt der Wurzel kaum. Im Gegensatz zu MCP besteht keine deutliche Beziehung zwischen P-Düngung in Form von DCP und Cu-Gehalt des Sprosses. Anders sind die Verhältnisse beim Weizenkorn. Hier nimmt der Cu-Gehalt mit steigenden P-Gaben auf beiden Böden eindeutig ab. Ähnlich wie bei Zn und Mn scheinen hohe P-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze auch die Translokation von Cu aus den vegetativen in die generativen Organe zu hemmen (14.20).

Abb. 20: Bodenkulturversuch mit Winterweizen
Cu-Gehalte (γ Cu/g ATM) in Körner bei 3 Ernten



e. Eisen

JONES (1967) gibt folgende Einstufungsbereiche für Mais und zwar für das Kolbenblatt zu Beginn der Blüte:

mangel	10	ppm
niedrig	10-20	ppm
ausreichend	21-250	ppm
hoch	251-350	ppm
Überschuss	350	ppm

CHAPMAN (1967) nennt für verschiedene Pflanzenarten bezüglich ihrer Versorgung mit Eisen folgende Fe-Gehalte:

	mangel		normal	
Mais	24-56	ppm	56-178	ppm
Reis	63	ppm	-	
Sojabohnen	28-38	ppm	44- 60	ppm
Sonnenblumen	80	ppm	113	ppm

HÖFNER (im Druck) fand bei jungen Maispflanzen in eisenhaltiger Nährlösung durchschnittliche Gehalte von 750 ppm Fe in der Wurzel und 210 ppm Fe im Spross. In Wasserkulturversuchen von MOAWAD (1968) wurden in Abhängigkeit vom Fe-Gehalt und von der Fe-Form (Fe-Chelate) in Maiswurzeln zwischen 134 und 2768 ppm beobachtet. Die bei den eigenen Untersuchungen in oberirdischen Pflanzenteilen gefundenen Fe-Gehalte bewegen sich im allgemeinen im Bereich normaler

Versorgung. Bei den beiden letzten Ernten von Winterweizen in der Bodenkultur kann aber bereits von hohen Gehalten im Stroh gesprochen werden.

1. Keimpflanzenversuche (Tab. 1-3)

1. und 2. Versuch:

Der Fe-Gehalt nimmt besonders in der Wurzel bei steigenden P-Gaben in Form von DCP ab. Es besteht eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung (0-180 mg P_2O_5 als DCP) und Fe-Gehalt der Wurzel ($r = -0,87^{++}$) und eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung (0-1200 mg P_2O_5 als DCP) und Fe-Gehalt des Sprosses ($r=-0,91^{++}$)

3. Versuch:

Der Fe-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigenden P-Gaben (0-1200 mg P_2O_5 als MCP) ab. Der Fe-Gehalt des Sprosses nimmt jedoch sogar leicht zu. Es besteht eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung in Form von MCP und Fe-Gehalt der Wurzel ($r= -0,80^{++}$) und eine signifikante positive Korrelation im Spross ($r= +0,51^{+}$) (Tab. e_1 und e_2).

Tabelle e_1: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Wurzel

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	-0,87++ (1.V.)	+0,88++	-0,02			-0,90++ (1.V.)	+0,93+	+0,27		
2	-0,11 (2.V.)	+0,58+	-0,66+			+0,12 (2.V.)	+0,62	-0,30		
3	-0,80++ (3.V.)	+0,03	-0,51	-0,20	-0,65	-0,90++ (3.V.)	+0,21	-0,14	-0,68	-0,72
4			-0,66+	+0,11	-0,50			-0,37	-0,23	-0,25
5			-0,88++	+0,77	+0,46			-0,83++	+0,74	+0,61
6				+0,73	-0,60				+0,65	-0,49
7				-0,27	-0,52				-0,40	-0,16
8				-0,15	-0,85				-0,15	-0,79
9				+0,14	-0,66				+0,43	-0,93
10				-0,26	-0,14				+0,22	+0,64
		+0,56++	-0,43++	+0,11	-0,43++		+0,63++	-0,16	-0,12	-0,16

Tabelle e_2: Korrelationen (r) zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt im Sproß

Versuch bzw. Ernte	a. mit 1. Düngungsstufe					b. ohne 1. Düngungsstufe				
	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK	KPf	WK	SK	GVBA	GVBK
1	-0,15 (1.V.)	-0,85++	-0,74	-0,84	+0,43	-0,37 (1.V.)	-0,85++	-0,79	-0,78	+0,13
2	-0,91++ (2.V.)	-0,54	-0,16	+0,28	-0,56	-0,88++ (2.V.)	-0,26	-0,04	-0,60	-0,47
3	+0,51+ (3.V.)	-0,72++	+0,29	+0,41	-0,65	+0,49+ (3.V.)	-0,58	+0,13	+0,24	-0,81
4			-0,05	-0,80	-0,43			-0,16	-0,97+	-0,19
5			-0,47	-0,26	-0,97++			-0,11	+0,28	-0,96+
6				-0,16	+0,64				+0,98+	+0,83
7				-0,21	-0,26				+0,90	-0,65
8				+0,94+	-0,12				+0,96+	-0,42
9				+0,62	+0,67				+0,77	+0,76
10				+0,66	+0,51				+0,51	+0,22
		-0,70++	-0,19	+0,13	-0,20		-0,56++	-0,17	+0,16	-0,25

Bezüglich der hohen Fe-Gehalte in der Wurzel des 3. Versuchs bzw. für die niedrigen Fe-Werte im 1. und 2. Versuch insbesondere in der P_0-Stufe, muss angenommen werden, dass der im 3. Versuch verwendete Quarzsand einer neuen Sendung entstammte, die vor dem Versuch nicht auf ihre Reinheit geprüft worden war. Dass in diesem neuen Sand mit einem hohen Anteil an löslichem Eisen, dieses kann vermutet werden, dass durch steigende Konzentrationen wsserlöslichen Phosphate als Fe-Phosphat ausgefällt und damit in seiner Verfügbarkeit erheblich beeinträchtigt worden ist.
Die Außerachtlassung der P_0-Stufe hatte auf die Korrelationskoeffizienten in den Keimpflanzenversuchen keinen Einfluss, deren Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.
Der Fe-Gehalt der Wurzel nimmt bei steigenden P-Düngungsgaben deutlich ab. Der Fe-Gehalt des Sprosses nimmt bei steigenden Gaben von DCP ab, bei steigenden Gaben von MCP nimmt er zu.

2. Wasserkulturversuch (Tabelle 4 - 6)

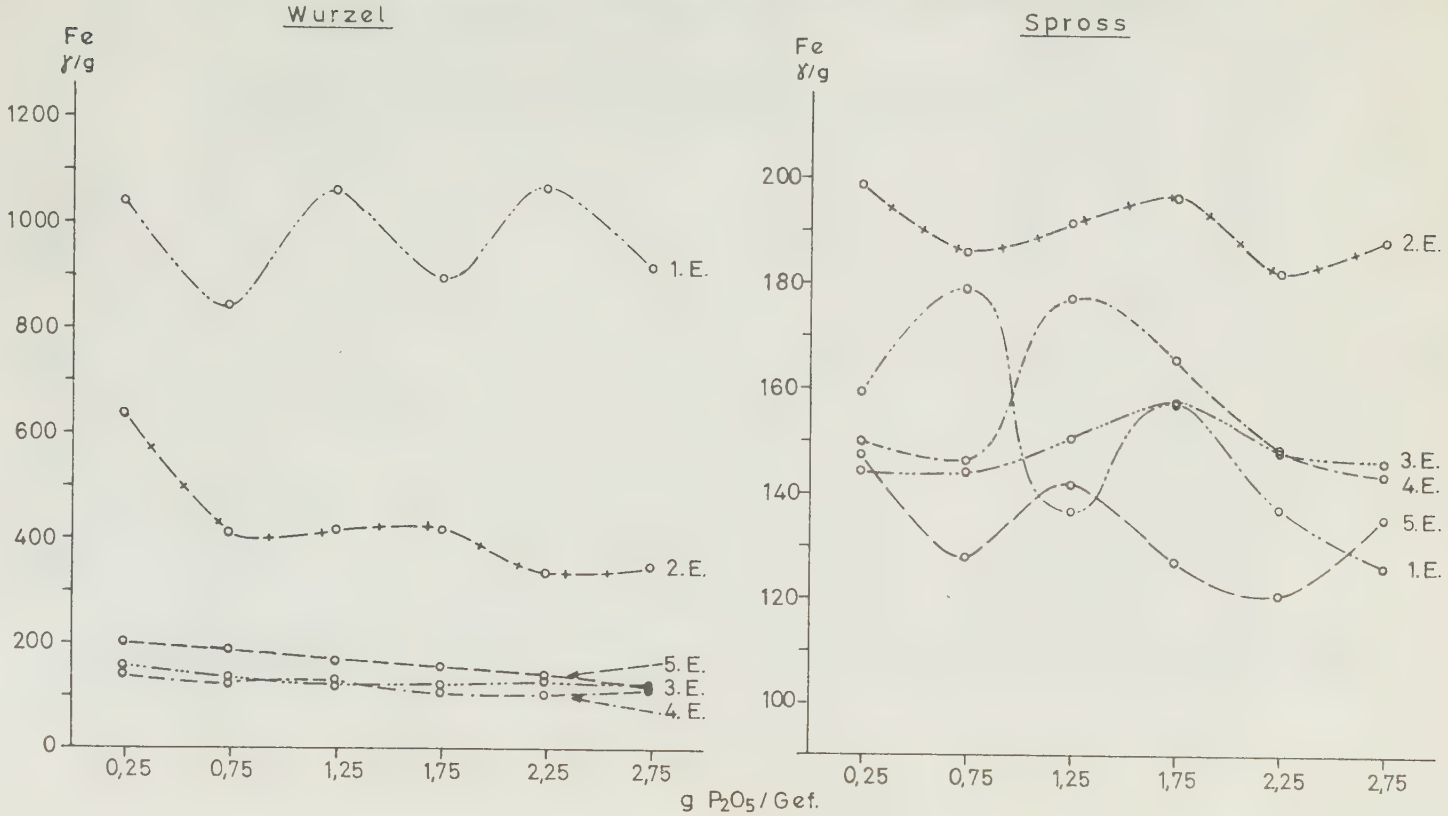
Die steigende P-Konzentration der Nährlösung hat bei der 1. Ernte eine deutliche Zunahme des Fe-Gehaltes zur Folge. Für die 2. Ernte trifft dies nur bedingt zu und für die 3. Ernte kann eine sichere Aussage bezüglich des Einflusses auf den Fe-Gehalt der Wurzel nicht mehr gemacht werden. Der Fe-Entzug nimmt aber bei der 2. und 3. Ernte bei steigenden P-Gaben in einigen Gefäßen entsprechend dem P-

Gehalt der Nährlösung zu (Tab. 34-42). Es besteht eine positive Korrelation zwischen P-Konzentration in der Nährlösung und Fe-Gehalt der Wurzel für die 1. und 2. Ernte ($r = +0,88^{++}$ bzw. $r = +0,58^{+}$) und eine hochsignifikante positive Korrelation für den gesamten Versuch ($r = +0,56^{++}$). Sie bleibt auch bei Weglassung der Werte der P_0-Stufe erhalten ($r = -0,63^{++}$). Umgekehrt nimmt bei steigenden P-Konzentrationen der Fe-Gehalt des Sprosses deutlich ab. Eine hochsignifikante Korrelation zwischen P-Gehalt der Nährlösung und Fe-Gehalt des Sprosses für die 1. und 3. Ernte sowie für den gesamten Versuch ist gegeben ($r = -0,85^{++}$ und $r= -0,72^{++}$ bzw. $r= -0,70^{++}$). Auch ohne Berücksichtigung der P_0-Stufe besteht die Korrelation unverändert.

3. Sandkulturversuch (Tab. 7 - 11 und Abb. 21)

Der Fe-Gehalt der Wurzel nimmt mit Steigerung der P-Düngung, besonders ab der 2. Ernte stark ab. Bei der 1. Ernte handelt es sich um eine Vereinzelung. Hier sind die Fe-Gehalte in allen P-Stufen sehr hoch. Die starke Abnahme des Fe-Gehaltes in der Wurzel von der 1. Ernte an bis zur 3. Ernte ist sehr wahrscheinlich z.T. auf einen Verdünnungseffekt zurückzuführen (siehe entsprechende Tabellen im Anhang über den Entzug). Es besteht eine signifikante negative Korrelation bei den Erten 2 und 4 sowie eine hochsignifikante negative Korrelation bei der 5. Ernte ($r= -0,66^{+}$ und $r= -0,66^{+}$ sowie $r= -0,88^{++}$). Auch für den gesamten Versuch gilt eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Wurzel ($r = -0,43^{++}$).

Abb.21: Sandkulturversuch mit Mais (steigende MCP-Gaben)
Fe-Gehalte (γ Fe/g ATM) in Wurzel und Spross bei 5 Ernten



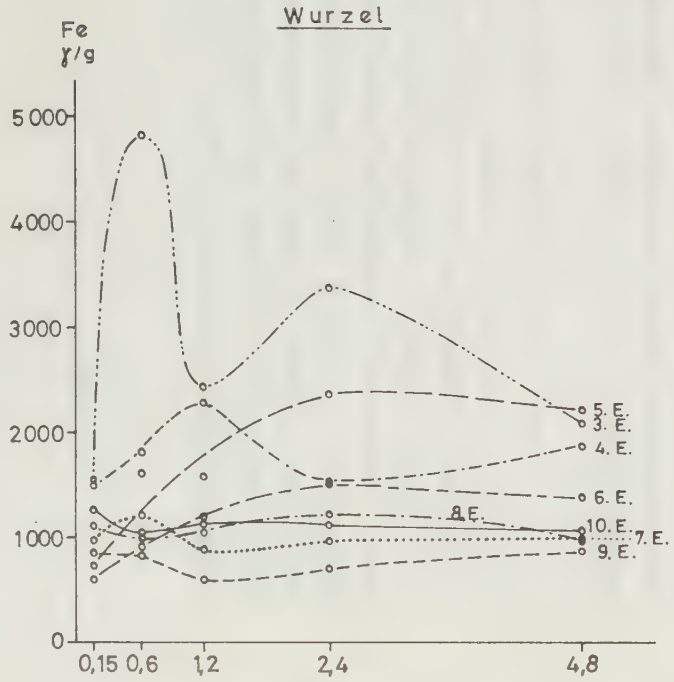
Die Fe-Gehalte der P_o-Stufe beeinflussen die Korrelation aber sehr stark. Ohne diese Werte ist die Korrelation nur noch schwach und nicht mehr gesichert.
Ein Einfluss der P-Düngung auf den Fe-Gehalt des Sprosses von Maispflanzen ist im gesamten Versuch nicht zu erkennen. Es besteht keine Korrelation weder bei den einzelnen Ernten noch im ganzen Versuch, gleichgültig ob mit oder ohne P_o-Stufe (Tab. e_2).

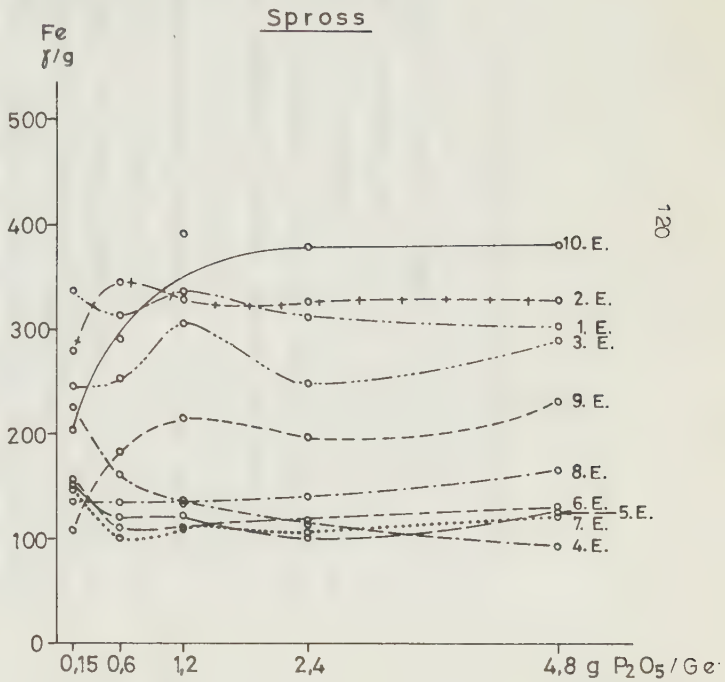
4. Bodenkulturversuch

4.1. Boden Annerod (Tab. 12-20 und Abb. 22)

Die Ergebnisse dieses Versuchs lassen keine Abhängigkeit zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Weizenpflanzen erkennen Aus den Tabellen 12-20 geht zwar hervor, dass die Wurzeln in der P_o-Stufe häufig den niedrigsten Fe-Gehalt aufweisen. Die entsprechenden Tabellen über den Fe-Entzug machen dieses Bild noch deutlicher. Es besteht aber keine sichere Korrelation zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Wurzel sowohl für die einzelnen Ernten als auch für den gesamten Versuch. Auch bei Außerachtlassung der P_o-Stufe ist eine sichere Korrelation nicht festzustellen. Im Gegensatz zur Wurzel weist der Spross der P_o-Stufe häufig den höchsten Fe-Gehalt auf. Das läßt auf eine abnehmende Tendenz schliessen,trotzdem ergibt sich auch für den Sproß keine Korrelation zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt. Dies gilt mit und ohne Berücksichtigung der P_o-Stufe sowohl für die einzelnen Ernten als auch für den ganzen Versuch.

Abb.22: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Annerod
Fe-Gehalte (γ Fe/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten





4.2. Boden Kleinlinden (Tab. 12-20 und Abb. 23)

Im Gegensatz zu Boden Annerod weisen die Wurzeln auf Boden Kleinlinden in der P_o-Stufe den höchsten Fe-Gehalt auf. Inwieweit hier ein Konzentrationseffekt eine Rolle spielt (siehe entsprechende Tabellen im Anhang) sei dahingestellt. Für die einzelnen Ernten besteht auch hier keine Korrelation zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Wurzel. Für den gesamten Versuch ist aber eine hochsignifikante negative Korrelation gegeben ($r=-0,43^{++}$). Läßt man aber die P_o-Stufe unberücksichtigt besteht keine Signifikanz mehr (Tab. e_1).
Beim Spross besteht auch auf Boden Kleinlinden, wie beim Boden Annerod, keine sichere Beziehung zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt. Das geht auch aus den Abb. 21-23 hervor, die erkennen lassen, dass die Fe-Gehalte vor allem in den unteren P-Düngungsstufen häufig unregelmäßige Schwankungen aufweisen, während sie bei den hohen P-Stufen praktisch unverändert sind.
Auf beiden Böden ändert sich der Fe-Gehalt der Körner bei steigenden P-Gaben meist nur wenig, besonders, wenn man die P_o-Stufe unberücksichtigt läßt (Abb. 24): In Zusammenfassung von 3 Ernten besteht auf keinem der beiden Böden zwischen Höhe der P-Gabe und Fe-Gehalt der Körner eine sichere Korrelation ($r= +0,37$ bzw. $r= -0,25$). Der Fe-Entzug durch die Körner jedoch nimmt auf Grund der Ertragsunterschiede bei steigenden P-Gaben sowohl beim Boden Annerod als auch bei Boden Kleinlinden drastisch zu (Tab. 4 3-45).

Abb.23: Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf Boden Kleinlinden
Fe-Gehalte (γ Fe/g ATM) in Wurzel und Spross bei 10 Ernten

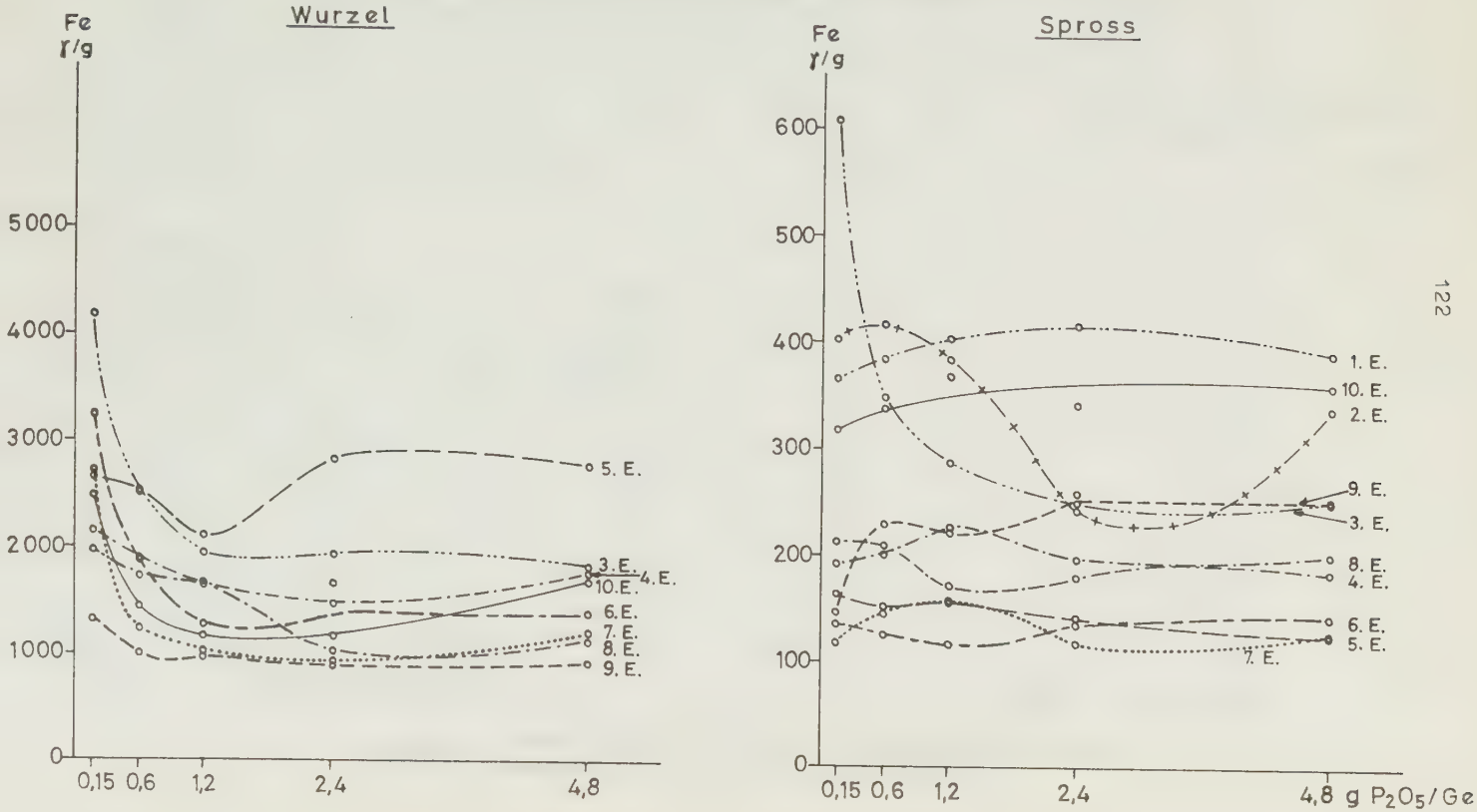
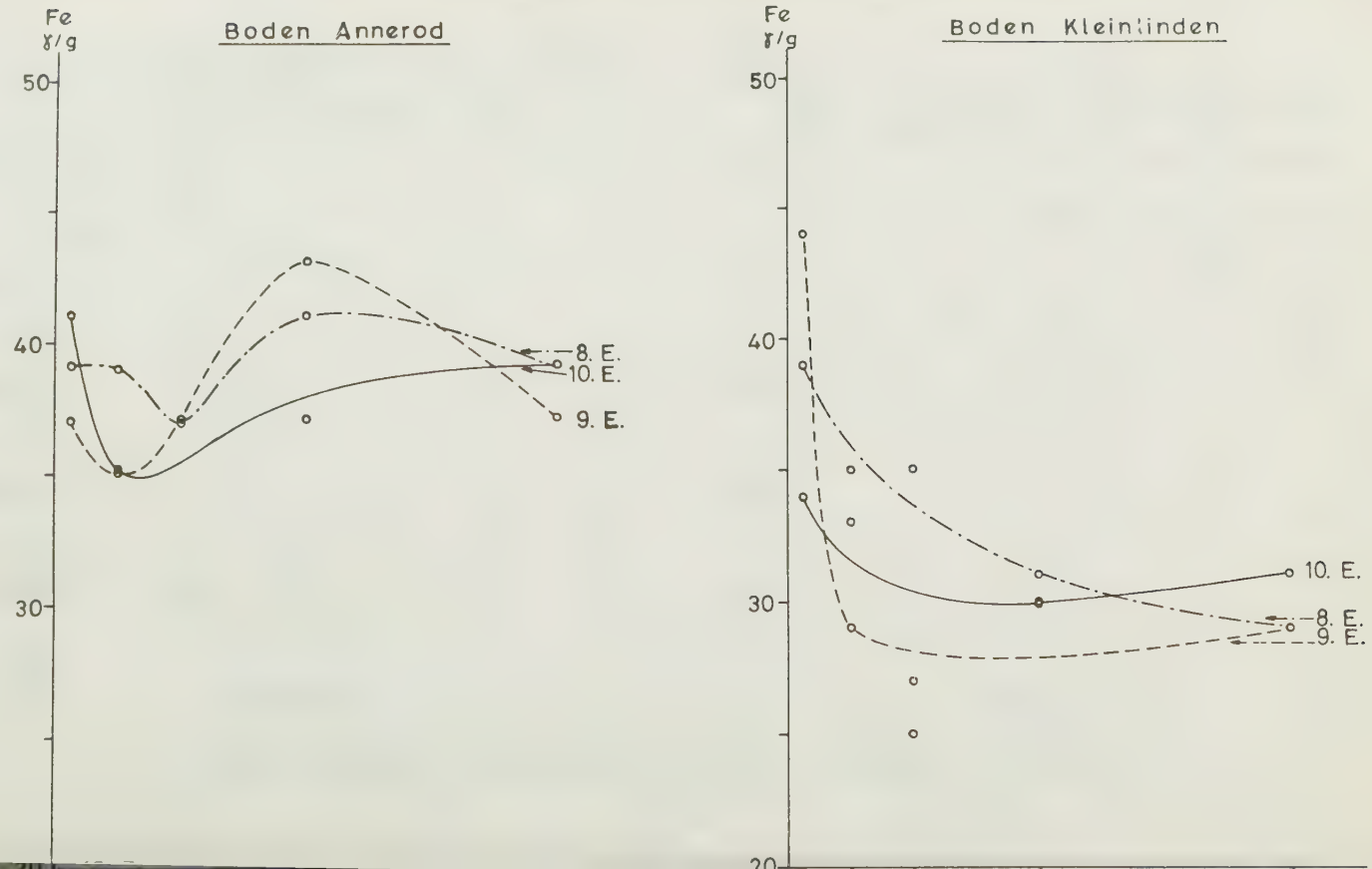


Abb.24: Bodenkulturversuch mit Winterweizen
Fe-Gehalte (γ Fe/g ATM) in Körner bei 3 Ernten



Zusammenfassend läßt sich über die Beziehung zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Pflanzen sagen, dass in der Mehrzahl der Versuche steigende P-Gaben den Fe-Gehalt der Wurzeln eher senken als erhöhen. Das trifft nicht für den Wasserkulturversuch zu. Dieser Versuch ist der einzige, bei dem die Wurzeln in ihrer Gesamtheit geerntet werden konnten. Bei allen anderen Versuchen mit festem Nährsubstrat ist die Wurzelernte sehr problematisch. Die Mehrzahl der feinen Faserwurzeln geht hier beim Auswaschen verloren, und gerade diese sind es doch, die einerseits die Nährstoffaufnahme bewerkstelligen und an deren Oberfläche sich Sorptionsvorgänge abspielen können. Auf der anderen Seite ist es, insbesondere bei Bodenkulturen, unmöglich, bei den Wurzeln anhaftenden Bodenpartikeln auch durch intensivstes Waschen zu entfernen. Bei Elementen, deren Gehalt im Boden und in der Trockenmasse der Pflanzen ähnlich ist, spielen diese Verunreinigungen keine große Rolle. Wenn aber, wie im Falle des Eisens, der Gesamtgehalt des Bodens an einem Element mehr als 10 000 ppm beträgt, so können bereits geringere Verunreinigungen einen viel zu hohen Fe-Gehalt der Wurzeln vortäuschen, dieser Umstand darf bei der Beurteilung der Fe-Gehalte der Wurzeln insbebsondere bei den Versuchen auf natürlichem Boden, nicht außer Acht gelassen werden.

Eine sichere allgemeingültige Beziehung zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt der Sprosse kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Es scheint nicht zulässig zu sein, die im Wasserkulturversuch gefundene den Fe-Gehalt senkende Wirkung steigender P-Konzentrationen zu verallgemeinern.

Eine sichere Beziehung zwischen Fe-Gehalt der Körner und P-Düngung besteht nicht (Tabelle f).

C. DISKUSSION

I. Phosphor

Die bisherigen Arbeiten anderer Autoren über den Einfluss der Phosphatdüngung auf die Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen lassen erkennen, dass solche Einflüsse vor allem bei den Mikronährstoffen Zn, Mn, Cu und Fe beobachtet worden sind. Es wird aber auch deutlich, dass die bei einer bestimmten Pflanzenart erhaltenen Befunde nicht unbedingt auch für andere Pflanzenarten Gültigkeit zu haben brauchen. Insbesondere bestehen Unterschiede zwischen ein- und mehrjährigen Pflanzen.
Relativ wenige Untersuchungen zu dieser Frage, liegen bisher für monokotyle Pflanzen vor. Es schien deshalb wichtig zu sein, in der vorliegenden Arbeit die Untersuchungen auf diese Pflanzengruppe zu beschränken und hier die Wechselwirkungen zwischen P-Düngung und Aufnahme von Zn, Mn, Cu und Fe eingehend zu untersuchen.
In den vorliegenden Versuchen werden alle Versorgungsbereiche von ungenügender bis überhöhter P-Versorgung erfasst. Wenn auch unter praktischen Verhältnissen Wechselwirkungen zwischen P-Düngung und Versorgung der Pflanzen mit Mikronährstoffen vor allem bei überhöhter P-Düngung beobachtet worden sind, so erschien es zur Aufklärung der grundsätzlichen

Zusammenhänge doch notwendig, auch die niedrigen P-Versorgungsstufen in die Versuche mit einzubeziehen. In den Keimpflanzenversuchen kann man in den nicht mit Phosphat gedüngten Versuchsreihen, auf Grund des hohen P-Gehaltes im Getreidekorn, ohnehin nicht von ausgesprochenem P-Mangel sprechen.
Phosphatmangelerscheinungen traten in den niedrigen P-Düngungsstufen sowohl im Wasser- und im Sandkulturversuch mit Mais als auch im Bodenkulturversuch mit Winterweizen auf. Der Maximalertrag wurde in einer der mittleren Düngungsstufen erreicht.
Die höheren und höchsten P-Stufen steigerten die Erträge also nicht mehr. Auf der anderen Seite führten sie aber auch nicht zu Ertragsdepressionen. In allen Versuchen hat der P-Gehalt sowohl in der Wurzel als auch im Spross bei Steigerung der P-Düngung deutlich zugenommen. Das entspricht den Befunden u.a. von SPENCER (1966) und ZAHIRI (1972). Die Versuchsergebnisse zeigen weiterhin, dass der P-Gehalt der Pflanzen von ihrem Alter und von der Höhe der P-Düngung stark abhängig ist.
Die relativ stärkste Zunahme der P-Gehalte erfolgt vor allem bei den niedrigen P-Gaben gegenüber der Kontrolle. In den höchsten P-Stufen kann es vorkommen, dass der P-Gehalt leicht von der steigenden Tendenz abweicht. Vor allem dieser Umstand führt dazu, dass vereinzelt die Korrelation zwischen P-Düngung und P-Gehalt nicht signifikant bzw. hochsignifikant ist. Bei der relativ geringen Zahl von Stichproben jeder einzelnen Ernte kann aber bereits ein einziger solcher Wert die Korrelation schwächen. Ermittelt man aber die Korrelation zwischen P-Düngung und P-Gehalten jeweils für den gesamten Versuch, d.h. für sämtliche Ernten, so ergeben sich hochsignifikante Korre-

lationen sowohl für Wurzeln als auch für Sprosse (Tab. a_1 und a_2). Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten erfolgte in sämtlichen Versuchen einmal unter Einbeziehung aller, ermittelten Gehaltswerte auch der bei den niedrigsten P-Düngungsstufen, zum anderen unter Außerachtlassung dieser Werte. Bei den Pflanzen der P_o-Stufe handelt es sich mit Ausnahme der Keimpflanzenversuche, um ausgesprochene P-Mangelpflanzen, bei denen es durch einen reinen Konzentrationseffekt häufig zu einer starken Anreicherung von anderen Elementen auch von Mikronährstoffen, gekommen ist. Solche hohen Gehalte, die nicht spezifisch von der P-Düngung hervorgerufen worden sind und die bereits bei relativ niedrigen P-Gaben abnehmen, bestimmen weitgehend Richtung und Stärke einer Korrelation. Bei Keimpflanzen, mit einer hohen Phosphatreserve im Samen, kann allerdings auch in der P_o-Stufe nicht von ausgesprochenem P-Mangel gesprochen werden. Insgesamt erscheint es aber richtiger bei der Diskussion der Ergebnisse, die Korrelationen, die ohne Einbeziehung der P_o-Stufe gefunden wurden, höher zu bewerten als die Korrelationen aus sämtlichen vorhandenen P-Stufen.

II. Zink

Aus den Untersuchungen mehrerer Autoren geht hervor, dass häufig die Wechselwirkungen zwischen P-Düngung und Zn-Aufnahme von der Form des P-Düngers beeinflusst werden, d.h., dass oft die Ergebnisse davon abhängig waren, ob wasserlösliche Phosphate (Monocalciumphosphat, Superphosphat, Triplephosphat) oder schwerlösliche Phosphate (wie z.B. Dicalciumphosphat, bei den

Versuchen verwendet wurden. So zeigten Untersuchungen von GÄRTEL (1968), dass eine P-Überdüngung mit Thomasphosphat zu schweren Schädigungen bei Reben führte. Dabei waren nicht die hohen P-Mengen im Boden toxisch, sondern ihre schädigende Wirkung erfolgte nach Ansicht des Autors auf dem Umweg über eine Behinderung der Zn-Aufnahme durch die Wurzel. SINGH und DARTIGUES (1970) stellten ebenfalls die unterschiedliche Wirkung verschiedener Phosphatformen heraus und zwar von Polyphosphat und Orthophosphat auf zwei Zn-bedürftigen Böden mit unterschiedlichem P-Gehalt. Bei beiden Böden war die Wirkung des Polyphosphats auf die Trockensubstanz-Bildung von Mais der des Diammoniumphosphats überlegen. Dies wurde hauptsächlich auf die unterschiedliche Reaktion der beiden Phosphatformen mit dem Bodenzink zurückgeführt. Die Autoren meinen, dass die Anwesenheit von Polyphosphat im Boden zu verfügbaren Zn-P-Verbindungen führt. Demgegenüber soll Diammoniumphosphat die Verfügbarkeit von Bodenzink verschlechtern, was sich auch in einer verminderten Trockensubstanzproduktion widerspiegelt. Untersuchungen von TERMAN et al. (1966) ergaben, dass bei einer Steigerung der P-Düngung in Form von DCP der pH-Wert erhöht wurde, die Zn-Löslichkeit im Boden abnahm und damit die Zn-Verfügbarkeit für Maispflanzen geringer wurde. BINGHAM (1956) fand, dass auch bei steigenden P-Gaben von Monocalciumphosphat die Zn-Aufnahme von Sojabohnen und Citruspflanzen gesenkt wurde. Gegenteilige Ergebnisse liegen indessen von SPENCER (1960) vor. Er beobachtete, dass bei Superophosphatdüngung eine Zunahme der Zn-Aufnahme bei Citruspflanzen eintrat. Keinen Einfluss auf die Zn-Aufnahme fanden BOAWN et al. (1954). Sie

stellten fest, dass P-Gaben von 200 pounds P_2O_5 per acre (= 224 kg/ha) in Form von Superphosphat bei Bohnen keinen Einfluss auf die Zn-Aufnahme oder das Auftreten von Zn-Mangel hatten. Auch HALIM et al. (1968) konnten bei ihren Untersuchungen im Sand mit Hoaglandlösung nicht feststellen, dass eine hohe P-Konzentration den Zn-Gehalt der Maisblätter verringert.

Bei den eigenen Untersuchungen fanden wasserlösliche Phosphate (Monocalciumphosphat bzw. Dinatriumphosphat) Verwendung im 3. Keimpflanzenversuch, im Sand- und im Wasserkulturversuch, während im 1. und 2. Keimpflanzenversuch und im Bodenkulturversuch steigende Gaben von Dicalciumphosphat verabreicht wurden.

Die Ergebnisse der erstgenannten Versuche lassen sich dahingehend zusammenfassen, dass in sämtlichen Versuchen, mit und ohne P_o-Stufe eine signifikante Zn-Zunahme in der Wurzel zu verzeichnen ist. Steigende Gaben von Dicalciumphosphat führen nur in einem der beiden Bodenkulturversuche zu einer signifikanten Erhöhung des Zn-Gehaltes der Wurzel bei Weizen. Deshalb sollte dieser Befund, der beim Boden Annerod eingetroffen wird, nicht überwertet werden, zumal eine Signifikant der Einzelernten nur in einem Fall besteht. So ergibt sich insgesamt, dass steigende Gaben von Dicalciumphosphat den Zn-Gehalt der Wurzeln kaum verändert haben. Auf die Problematik von Wurzeluntersuchungen aus Bodenkulturversuchen wurde bereits hingewiesen. Durch Wegfall der aktiven Faserwurzeln wird nur ein Teil des gesamten Wurzelsystems erfasst, das zwar gewichtsmäßig nicht sehr bedeutend, für die Aufnahmevorgänge aber umso wichtiger ist und wahrscheinlich einen relativ hohen Zn-Gehalt aufweist.

Nicht einheitlich sind die Beziehungen zwischen P-Düngung und Zn-Gehalt des Sprosses. Hier haben steigende Gaben von wasserlöslichen Phosphaten den Zn-Gehalt im Wasser- und im Sandkulturversuch gesenkt. Eine Zunahme des Zn-Gehaltes in der Wurzel und eine Abnahme im Sproß kann als eine Hemmung des Zn-Transports aus der Wurzel in den Sproß als Folge der steigenden Gaben löslichen Phosphats angesehen werden. Im 3. Keimpflanzenversuch hat hingegen durch steigende Gaben von MCP der Zn-Gehalt der Keimpflanzensprosse zugenommen. Ob Mais- und Gerstenpflanzen unterschiedlich reagieren oder ob es erst mit zunehmendem Alter der Pflanzen zu einer Hemmung der Zn- Translokation aus der Wurzel in den Sproß kommt, musste in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Bei Verabreichung von DCP wurde der Zn-Gehalt des Sprosses auf beiden Böden gesenkt. Eine signifikante negative Beziehung ist aber nur in einem Fall gegeben.

In den Keimpflanzenversuchen nahm der Zn-Gehalt des Sprosses erst bei den Gaben 0-1200 mg P_2O_5 als DCP ab. Dagegen haben die Gaben von 0-180 mg P_2O_5 als DCP den Zn-Gehalt des Sprosses kaum beeinflusst. Läßt man die P_o-Stufe unberücksichtigt, so besteht ganz allgemein eher die Tendenz einer Zn-Zunahme als eine Abnahme.

In der Bodenkultur führen beide Versuche zu dem Ergebnis, dass bei steigenden P-Gaben der Zn-Gehalt der Körner gesenkt wird. Das spricht sehr deutlich dafür, dass hohe P-Gaben bzw. hohe P-Gehalte den Transport von Zn aus der Wurzel in den Spross sowie die Translokation aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen. Zu ähnlichen Schlüssen kamen auch STUKENHOLTZ et al. (1966) und PAULI et al. (1968) sowie SHARMA (1968, a),

in dem sie feststellten, dass steigende P-Gaben von $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$ die Zn-Konzentration im Spross mehr als in der Wurzel senkten und dass der Einfluss auf die Zn-Aufnahme durch die Wurzel gering war. Auch Untersuchungen von PROHSZKA und CSERNIE (1970) ergaben, dass bei steigenden P-Gaben der Gehalt der Maiskörner an Zn sich parallel mit der Erhöhung der P-Gaben verminderte.
Insgesamt kann auf Grund der vorliegenden Untersuchungen gesagt werden, dass hohe Phosphatgehalte im Boden weniger die Zn-Aufnahme hemmen, sondern vielmehr die Beweglichkeit des Zinks in der Pflanze einschränken. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass auf diese Weise ein beginnender Zn-Mangel in den oberirdischen Organen der Pflanze verstärkt werden kann. Dieser Fall trat allerdings bei den eigenen Untersuchungen nicht ein.

III. Mangan

Der pH-Wert des Bodens ist für die Versorgung der Pflanzen vor allem mit Mn von wesentlicher Bedeutung. Da die Form des Phosphatdüngers, besonders bei hohen Gaben, einen Einfluss auf den pH-Wert des Bodens ausübt, sind die Wirkungen der P-Düngung auf die Mn-Versorgung der Pflanzen meistens keine direkten, sondern sind Folge des Einflusses der P-Dünger auf die Bodenreaktion (SPENCER, 1960; PAGE, 1962; MESSING, 1965; ELLIOT, 1969). Aber auch eine direkte Reaktion des Düngerphosphats mit dem Bodenmangan ist möglich. So stellte HEINTZE (1968) fest, dass Mn-Phosphate im Bereich zwischen 6,5-9,0 nahezu vollständig ausgefällt werden. Gehalte an toxisch wirkendem

Mangan im sauren Boden können deshalb durch eine Düngung mit DCP herabgesetzt werden. Auf der anderen Seite kann auf neutral bis alkalisch reagierenden Böden die Mn-Verfügbarkeit durch Düngung mit DCP verschlechtert werden. In Gefäßen führte eine DCP-Düngung auf solchen Böden zu einer Abnahme des Mn-Gehaltes und des Kornertrags von Hafer. LARSEN (1964) stellte fest, dass auf neutralen und alkalischen Böden eine Düngung mit Triplephosphat in jedem Fall den Mn-Gehalt der Blätter von Zuckerrüben und Hafer erhöhte. Auch LINDSAY (1959) sowie LINDSAY und STEPHENSEN (1959) kamen zu dem Ergebnis, dass der pH-Wert des Bodens durch Düngung mit Superphosphat gesenkt und damit die Mn-Verfügbarkeit im Boden verbessert wurde. Dieser Umstand kann für die Versorgung der Pflanzen auf neutral bis alkalisch reagierenden Böden von großer Wichtigkeit sein (BINGHAM und GARBER, 1960).

Die eigenen Untersuchungen ergeben, dass in sämtlichen Versuchen mit Dicalciumphosphat eine signifikante Abnahme des Mn-Gehaltes in den Wurzeln eintritt, während der Mn-Gehalt der Wurzel mit Steigerung der wasserlöslichen Phosphate ansteigt sofern man die P_o-Stufe ausklammert. Eine ähnliche Beziehung zwischen P-Düngung und Mn-Gehalt tritt beim Spross in Erscheinung, d.h. der Mn-Gehalt des Sprosses nimmt mit steigenden Dicalciumphosphat-Gaben ab und bei der Steigerung der wasserlöslichen Phosphate zu. Steigende P-Gaben in Form von DCP haben den Mn-Gehalt des Weizenkorns bei beiden Böden gesenkt. Das spricht wie beim Zn dafür, dass hohe P-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze die Translokation von Mn aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen.

Die Unterschiede zwischen beiden Phosphatformen in ihrer Wirkung auf den Mn-Gehalt der Pflanzen ist auf den unterschiedlichen Einfluss auf die Reaktion des Nährsubstrats zurückzuführen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, warum der Mn-Gehalt der Gerstenpflanzen nicht mit abnehmendem pH-Wert zugenommen hat, obwohl die pH-Werte eine sehr deutliche und gleichmäßige Verschiebung zum sauren Bereich durch MCP erkennen lassen. Wie Tabelle g zeigt, liegt der pH-Wert jedoch zwischen 9,13 und 6,91 und HEINTZE (1968) stellte fest, dass Mn im Bereich zwischen 6,5 bis 9,0 nahezu vollständig ausgefällt wird. Bei pH-Werten in diesem Bereich kann deshalb keine wesentliche Veränderung der Mn-Aufnahme eintreten.

Die Maispflanzen in der Wasserkultur sind in einem sauren Milieu aufgewachsen (pH-Werte um 4). Die steigenden P-Konzentrationen in Form von Dinatriumphosphat haben den pH-Wert kaum beeinflusst, weil die Konzentration des löslichen Phosphats im Nährmedium stärker wirksam wird als die durch das Phosphat verursachte Änderung der Bodenreaktion. Jeh mehr überschüssiges lösliches Phosphat vorhanden ist, destomehr muss nach dem Massenwirkungsgesetz die Löslichkeit von Mn-Phosphat vermindert werden, so dass angenommen werden kann, dass der pH-Wert der Nährlösung keinen nennenswerten Einfluss auf die Mn-Aufnahme bzw. auf den Mn-Gehalt genommen hat, sondern, dass die beobachteten Unterschiede innerhalb des Versuchs auf die veränderten P-Konzentrationen zurückzuführen sind.
Die einzelnen Versuchsvarianten und die verschiedenen Ernten der Sandkultur weisen durchweg neutrale bis schwach alkalische Reaktion auf. Läßt man die P_o-Stufe unberücksichtigt, so haben

hier steigende P-Gaben in Form von MCP den Mn-Gehalt der Maispflanzen erhöht. Dies stimmt mit den Befunden von LARSEN (1964), BINGHAM und GARBER (1960), LINDSAY (1959) sowie LINDSAY und STEPHENSEN (1959) überein, dass bei dieser Bodenreaktion steigende P-Gaben in Form von MCP die Verfügbarkeit des Mangans im Boden begünstigen und damit die Mn-Aufnahme erhöht.

Aus den Bodenkulturversuchen geht deutlich hervor, dass sich mit steigenden DCP-Gaben der pH-Wert des Bodens erhöht. Das hätte sich, wie vielfach gezeigt wurde, auf die Löslichkeit des Mangans im Boden und die Aufnahme von Mn durch die Wurzel auswirken müssen. Wie Tabellen 12-20 und die Korrelationskoeffizienten zeigen, ist das auch tatsächlich der Fall gewesen. Auf dem Boden Kleinlinden, wo die pH-Werte niedriger liegen als auf dem Boden Annerod, ist diese Wirkung deutlicher. Die Ergebnisse bestätigen somit den Befund von HEINTZE (1968), dass hohe P-Gaben in Form von DCP den pH-Wert erhöhen und dass es damit zu einer verminderten Mn-Aufnahme kommt. Für alle P-Düngemittel, die die Bodenreaktion in ähnlicher Weisen beeinflussen (z.B. Thomasphosphat und Rhenaniaphosphat) dürfte der gleiche Mechanismus wirksam sein.

Zusammenfassend läßt sich über die Beziehung zwischen P-Düngung und Mn-Versorgung der Pflanzen sagen, dass hierbei die Form des P-Düngers von wesentlicher Bedeutung gewesen ist. Die Versuche haben gezeigt, dass steigende Mengen von DCP in den meisten Fällen den Mn-Gehalt von Wurzel und Spross gesenkt haben, und dass im normalen und vor allem im hohen P-Versorgungsbereich steigende Gaben von wasserlöslichen Phosphaten zu erhöhten Mn-Aufnahmen in Wurzel und Sproß führten.

Diese Unterschiede in der Mn-Aufnahme bzw. in dem Mn-Gehalt stehen in engem Zusammenhang mit den beobachteten Änderungen der Reaktion im Nährsubstrat.

IV. Kupfer

Dass die Formen des P-Düngers für die Versorgung der Pflanzen auch mit Cu nicht ohne Bedeutung ist, geht aus den Untersuchungen von EBERT et al. (1971) hervor; die Autoren stellten fest, dass Ernteprodukte, die mit Thomasphosphat gedüngt waren, einen niedrigeren Gehalt an Cu aufwiesen als die mit Superphosphat gedüngten. Die Autoren vermuten, dass diese niedrigen Gehalte auf die Veränderung der pH-Werte bei mehrjähriger Anwendung von Thomasphosphat zurückzuführen sind und auf eine damit in Zusammenhang stehende Festlegung von Kupfer im Boden. Den Phosphatkomponenten der Düngemittel wird aber keine spezifische Wirkung zugeschrieben.

Zahlreiche andere Autoren sind der Ansicht, dass aber auch eine Wechselwirkung zwischen P-Ernährung und Cu-Versorgung der Pflanzen besteht. Auch SPENCER (1966) hat auf diese Beziehung hingewiesen. Er fand, dass hohe P-Gaben (750 ppm als Mischung von Mono- und Dicalciumphosphat im Verhältnis von 1:9) im Sandkulturversuch zu einer Hemmung der Cu-Aufnahme bei Citruskeimlingen führten. Hohe Cu-Dosierungen verminderten wiederum den P-Gehalt der Blätter. Auch Untersuchungen von GREENWOOD und HALLWORTH (1960) ergaben, dass zwischen P und Cu eine Wechselwirkung bestand, indem bei hoher Cu-Konzentration die P-Aufnahme verringert und damit der Ertrag von *Trifolium subterraneum* gesenkt wurde. Hohe P-Gaben hingegen senkten den

Cu-Gehalt. Die Autoren beobachteten weiterhin, dass, wenn Cu als begrenzender Faktor auftrat, die Cu-Aufnahme durch gemäßigte P-Düngung erhöht wurde.
Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass in sämtlichen Versuchen bei steigenden P-Gaben von wasserlöslichen Phosphaten der Cu-Gehalt der Wurzel zunahm und der des Sprosses abnahm. Die Hemmung des Cu-Transports aus der Wurzel in den Spross tritt in diesen Versuchen besonders deutlich hervor.
Bei steigenden DCP-Gaben nahm der Cu-Gehalt der Wurzel ganz allgemein ab. Ohne Berücksichtigung der P_o-Stufe nahm er jedoch deutlich zu. Eine signifikante positive Beziehung ist aber nur für den gesamten Versuch beim Boden Kleinlinden gegeben. Für die einzelnen Ernten besteht diese Beziehung nur in einem Fall.

Bei Verabreichung von DCP hat der Cu-Gehalt des Sprosses bei Gerstenkeimpflanzen bei den gemäßigten Gaben (0 - 140 mg P_2O_5) zugenommen, während weitere Steigerung von DCP den Cu-Gehalt des Sprosses kaum verändert hat. Diese Ergebnisse bei mäßiger DCP-Steigerung bestätigen somit die Befunde von BINGHAM (1963) sowie von BINGHAM und GARBER (1960). Auf den beiden Böden wurde der Cu-Gehalt des Sprosses durch steigende Gaben von DCP unterschiedlich beeinflusst. Während beim Boden Annerod eine Cu-Zunahme zu verzeichnen ist, nimmt der Cu-Gehalt des Sprosses auf dem Boden Kleinlinden ganz allgemein ab. Es besteht aber keine signifikante Beziehung zwischen DCP-Düngung und Cu-Gehalt des Sprosses sowohl für die einzelnen Ernten als auch für den gesamten Versuch. Läßt man die P_o-Stufe unberücksichtigt, dann besteht eine signifikante positive Erhöhung des Cu-Gehaltes beim Boden Annerod. Die negative Beziehung zwischen DCP-Düngung

und Cu-Gehalt des Sprosses bleibt beim Boden Kleinlinden jedoch weiterhin auch ohne die Werte der P_o-Stufe unverändert.
Auf Grund der Änderungen im Cu-Gehalt der Wurzel auf beiden Böden, wäre eher ein gegenteiliges Ergebnis für den Sproß zu erwarten gewesen, da die Cu-Gehalte der Wurzel auf dem Boden Kleinlinden wesentlich höher waren als auf dem Boden Annerod.

Aus den P-Gehalten (Tab. 12-20) geht aber hervor, dass die P-Gehalte der Wurzel auf dem Boden Kleinlinden ganz allgemein höher waren als auf dem Boden Annerod. Es kann deshalb angenommen werden, dass durch die hohen P-Gehalte der Transport von Cu aus den Wurzeln in die Sprosse auf dem Boden Kleinlinden stärker gehemmt wurde als auf dem Boden Annerod.
Eindeutig sind die Verhältnisse beim Weizenkorn. Hier nimmt auf beiden Böden der Cu-Gehalt mit steigenden P-Gaben ab. Bis zu einem gewissen Grade mag auch hier, vor allem in der P_o-Stufe ein Konzentrationseffekt eine Rolle spielen, aber auch bei den hohen P-Stufen belibt die gleiche Tendenz erhalten.
Auch beim Kupfer ergibt sich also das gleiche Bild wie bei Zn und Mn, dass nämlich eine hohe P-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze die Translokation dieser Elemente aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen.

V. Eisen

Beim Fe scheint die Form des P-Düngers und die damit verbundenen Änderungen der Bodenreaktion keine so entscheidende Rolle wie beim Mn zu spielen. So haben Untersuchungen von HOLMES (1960) ergeben, dass ein optimales Wachstum von Kultur-

heidelbeere bei konstanter P-Menge nur bei pH 4 und 5 auftrat, weitere pH-Steigerungen (6,7 und 8) hatten Minderwuchs und Zunahme der Fe-Chloroseschäden zur Folge. Hohe P-Konzentrationen in der Nährlösung verringerten die Fe-Löslichkeit, und eine entsprechende Abnahme der Fe-Gehalte und Zunahme der P-Gehalte in den Blättern war erkennbar. KOCK und WALLACE (1965) untersuchten den Einfluss eines P-Überschusses auf das Auftreten der Fe-Chlorose. Sie fanden, dass hohe P-Konzentrationen in der Himbeerpflanze typische Fe-Mangelchlorosen verursachten. Zum gleichen Ergebnis kamen BENTLY et al. (1970) bei ihren Untersuchungen mit Hafer.

In sämtlichen eigenen Versuchen über die Beziehung zwischen P-Düngung und Versorgung der Pflanze mit Fe ergibt sich, dass ganz allgemein bei steigenden P-Gaben eher eine Abnahme als eine Zunahme des Fe-Gehaltes in der Wurzel zu verzeichnen ist. Lediglich in der Wasserkultur haben steigende P-Konzentrationen in der Nährlösung den Fe-Gehalt der Wurzel erhöht. Dieser war der einzige Versuch, bei dem die Wurzel in ihrer Gesamtheit geerntet werden konnte. Bei allen anderen Versuchen mit festem Nährsubstrat ist die Wurzelernte, wie schon bereits erwähnt wurde, sehr problematisch. Vor allem bei Bodenkulturen, ist es auch durch intensivstes Waschen unmöglich, die geernteten Wurzeln von den anhaftenden Bodenpartikeln völlig zu befreien. Bei Elementen, wie Eisen, dessen Gesamtgehalt im Boden mehr als 10 000 ppm beträgt, können bereits geringste Verunreinigungen einen viel zu hohen Fe-Gehalt der Wurzel vortäuschen. Dieser Umstand darf bei der Beurteilung der Fe-Gehalte der Wurzeln, insbesondere bei den Versuchen auf natür-

lichen Böden, nicht außer acht gelassen werden.
Eine sichere allgemeingültige Beziehung zwischen P-Düngung und Fe-Gehalt des Sprosses kann aus den eigenen Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Es erscheint auch nicht zulässig zu sein, die Fe-Gehalte in der Wasserkultur, wo steigende P-Konzentrationen den Fe-Gehalt des Sprosses gesenkt haben, zu verallgemeinern. Auch kann eine sichere Aussage über den Zusammenhangzwischen P-Düngung und Fe-Gehalt des Weizenkorns nicht gemacht werden.
Die Versuchsergebnisse bringen somit keine Bestätigung der Befunde von BROWN et al. (1955), wonach eine hohe P-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze die Translokation von Fe aus den vegetativen in die generativen Organe hemmen können.

D. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Beziehungen zwischen Phosphaternährung und Versorgung monokotyler Pflanzen (Sommergerste, Winterweizen und Mais) mit Zn, Mn, Cu und Fe zu untersuchen.

Hierzu wurden Versuche in Sand-, Wasser- und Bodenkultur angelegt und in diesen die Phosphatdüngung gesteigert. Diese Steigerung der P-Düngung umfasste alle Versorgungsbereiche von ungenügender bis überhöhter P-Versorgung. Nur in den Keimpflanzenversuchen kann in der P_o-Stufe auf Grund des hohen P-Gehaltes im Getreidekorn nicht von echtem P-Mangel gesprochen werden.

Da die Befunde anderer Autoren vermuten liessen, dass die Wechselbeziehungen zwischen P-Düngung und Mikronährstoffaufnahme von der Form des P-Düngers beeinflusst werden, wurde sowohl Steigerungen mit wasserlöslichen Phosphaten(Monocalciumphosphat in einem Keimpflanzenversuch mit Gerste sowie in der Sandkultur mit Mais, außerdem Dinatriumphosphat in der Wasserkultur mit Mais) als auch mit einem schwerlöslichen Phosphat (Dicalciumphosphat in zwei Keimpflanzenversuchen auf Sand mit Gerste und im Gefäßversuch auf zwei Böden mit Weizen) vorgenommen.

Über den Einfluss steigender P-Düngergaben auf den Gehalt monokotyler Pflanzen an Zink, Mangan, Kupfer und Eisen läßt sich folgende Aussage treffen:

Phosphatmangelerscheinungen verbunden mit Ertragsdepressionen traten in den niedrigen P-Düngungsstufen sowohl im Wasser- und im Sandkulturversuch mit Mais, als auch im Bodenkulturversuch

mit Winterweizen auf. Meistens wurde der Maximalertrag in einer der mittleren Düngungsstufen erreicht. Die höheren und die höchsten P-Stufen steigerten die Erträge nicht mehr. Sie führten aber auch nicht zu Ertragsdepressionen.
In sämtlichen Versuchen nahm der P-Gehalt in Wurzel und Spross bei Steigerung der P-Düngung deutlich zu. Das gilt auch für Weizenkorn in den Bodenkulturversuchen.

I. Zink

1. Steigende Gaben von wasserlöslichen Phosphaten haben den Zn-Gehalt der Wurzel erhöht.
2. Auch bei Steigerung von Dicalciumphosphat war eher eine Zn-Zunahme in den Wurzeln zu verzeichnen als eine Abnahme. Beide P-Formen haben also die Zn-Aufnahme durch die Wurzel nicht gehemmt.
3. Beim Spross nahm der Zn-Gehalt mit steigenden P-Gaben sowohl in Form von wasserlöslichem als auch von schwerlöslichem Phosphat leicht ab.
4. Der Zn-Gehalt der Körner wurde durch steigende P-Düngung deutlich gesenkt.
5. Diese Befunde führen zu dem Schluss, dass eine hohe P-Düngung bzw. hohe P-Gehalte in der Pflanze nicht die Zn-Aufnahme durch die Wurzel beeinträchtigen, sondern die Translokation von Zn aus der Wurzel in den Spross und vor allem aus den vegetativen oberirdnischen Organen in die generativen.

II. Mangan

1. Hierbei hat sich die Form des P-Düngers als von wesentlicher Bedeutung erwiesen. Die Versuche haben gezeigt, dass steigende P-Gaben in Form von Dicalciumphosphat in den meisten Fällen den Mn-Gehalt von Wurzel und Spross gesenkt haben.
2. Dagegen haben steigende Gaben von wasserlöslichen Phosphaten im normalen und im hohen P-Versorgungsbereich zu erhöhten Mn-Gehalten in Wurzel und Spross geführt.
3. Mögliche direkte Einflüsse hoher P-Konzentrationen im Boden auf die Mn-Aufnahme und die Translokation von Mn aus der Wurzel in den Sproß werden völlig überdeckt durch den Einfluss steigender P-Gaben (in verschiedenen Formen) auf die Bodenreaktion und die davon abhängige Mn-Verfügbarkeit.
4. Der Wasserkulturversuch bei annähernd gleicher Reaktion in allen P-Stufen läßt vermuten, dass ein direkter Einfluss der eigentlichen Phosphatdüngung auf den Mn-Gehalt der Wurzel nicht besteht, auch nicht auf die Verlagerung des Mangans in den Spross.
5. Steigende P-Gehalte im Spross hemmen aber die Mn-Verlagerung in die generativen Organe.

III. Kupfer

1. Der Cu-Gehalt der Wurzel hat mit steigenden P-Gaben in Form von wasserlöslichen Phosphaten zugenommen, der des Sprosses abgenommen.

2. Steigende P-Düngung als Dicalciumphosphat hat insgesamt den Cu-Gehalt der Wurzel eher erhöht als gesenkt, wenn man von den ausgesprochenen P-Mangelpflanzen absieht. Die Wirkung auf den Cu-Gehalt des Sprosses ist ebenfalls nicht eindeutig. Es kann aber ein den Cu-Gehalt des Sprosses senkender Einfluss angenommen werden.
3. Eine gehemmte Translokation aus den vegetativen in die generativen Organe ist bei steigendem P-Gehalt der Pflanze auch für Cu eindeutig gegeben.
4. Auch für Kupfer kann angenommen werden, dass eine starke P-Düngung nicht die Aufnahme des Cu durch die Wurzel hemmt, sondern die Translokation aus der Wurzel in den Spross, wenn auch nicht so ausgeprägt, wie beim Zink. Am deutlichsten ist die Transporthemmung von den vegetativen oberirdischen Organen in das Korn.

IV. Eisen

1. Der Befund in den meisten Versuchen, dass steigende P-Düngung den Fe-Gehalt der Wurzel eher senkt als erhöht, ist mit großen Vorbehalten zu registrieren. Das gegenteilige Ergebnis des Wasserkulturversuchs dürfte eher zutreffen.
2. Die Mehrzahl der Versuche in festem Nährsubstrat läßt keine eindeutige Beziehung zwischen steigender Phosphatdüngung und Fe-Gehalt des Sprosses erkennen. Im Wasserkulturversuch nimmt der Fe-Gehalt des Sprosses aber ab.
3. Der Fe-Gehalt im Korn hat sich mit steigenden P-Gaben bzw. steigenden P-Gehalten nicht geändert.

4. Der besonders für Zn und Cu erhaltene Befund, dass bei hoher P-Versorgung die Translokation dieser Elemente innerhalb der Pflanze gehemmt wird, scheint für Fe nicht generell zuzutreffen.

LITERATURVERZEICHNIS

AMBLER, J.E. and BROWN, J.C.: Cause of differential susceptibility to zinc deficiency in two varieties of navy beans (Phaseolus vulgaris L.). Agron.J. 61, 41-43 (1969)

ARNOND, D.I.: Functional aspects of copper in plants, in: Copper metabolism. The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore S. 89-114 (1950)

ASŌ, K.: The physiological influence of manganese compounds on plants. Imp.Univ. (Tokyo) Coll.Agr.Bull.5, 177-185 (1902) - zit. in: Diagnostic criteria for plants and soils von H.D.CHAPMAN, S. 266. Univ.of California, Division of Agr. Science (1966)

ASŌ, S. and TAKENAGA, H.: Studies on the physiological effect of humic acid. II. The effect of nitro-humic acid on iron-manganese interaction in soybean plant. Soil.Sci.Plant. Nutrit., Tokyo 14, 231-237 (1968)

BEER, K.: Untersuchungen über den Einfluss der Feuchtigkeit des Bodens auf die Dynamik der leichtlöslichen Bodenmanganfraktionen auf die Manganaufnahme der Pflanze. Thaer-Archiv 10, 657-669 (1969)

BEER, K.: Einfluss der Kalkung auf die Dynamik des Mangans in verschiedenen Böden der DDR und dessen Aufnahme durch die Pflanze. zit. in: Z.f.Pflanzenernähr. u.Bodenkde. 125, 170, (1970)

BENTELY, L., KOCK, P.C.de. and INKSON, R.H.E.: An investigation to the effect of varied phosphorus and iron concentrations in the nutrient medium on the cation and anion contents of oats. Plant and Soil, 32, 271-281 (1970)

BERGMANN, W.: Die Bedeutung der Mikronährstoffe in der Landwirtschaft. DDR. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 6 (1968)

BERGMANN, W., BEER, K.H., PRAUSSE, A., SCHMIDT, K., WITTER, B. und KATZENBERGER, W.: Erste Ergebnisse über den Einfluss der Kalkung saurer Böden auf den Ertrag sowie den Ca-, Mg-, Mn- und Mo-Gehalt von Kulturpflanzen und ihre verfügbaren Mengen im Boden. Zit. in LZ II 16, 2172-2173 (1971) in Russ.

BEYME, B.: Beziehung zwischen Zn- und Cu-Gehalt in Haferpflanzen und Böden. Z.f.Pflanzenernähr. u.Bodenkde. 130, 256-270 (1971)

BINGHAM, F.T. and MARTIN, J.P.: Effects of soil phosphorus on growth and minor element nutrition of citrus.Proc. Soil Sci. Soc.Amer. 20, 382-385 (1956)

BINGHAM, F.T., MARTIN, j.P. and CHASTAIN, J.A.: Effects of phosphorus fertilization of california soil on minor element nutrition of citrus. Soil.Sci. 86, 24-31 (1958)

BINGHAM, F.T. and GARBER, M.J.: Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 24, 209-213 (1960)

BINGHAM, F.T.: Relation between phosphorus and micornutrients in plants. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 27, 389-391 (1963)

BOAWN, L.C., LEGGETT, G.E.:Phosphorus and zinc concentration in Russet Burbank potato tissues in relation to development of zinc deficiency symptoms. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 28, 229-232 (1964)

BOAWN, L.C., RASMUSSEN, P.E.:Phosphorus fertilization of hops.Agron.J. 61, 211-214 (1969)

BOAWN, L.C., VIETS, F.G. and CRAWFORD, C.L.: Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. Soil Sci. 78, 1-7 (1954)

BORCHMANN, W. und FIBIAN, K.D.: Beitrag zur Wechselwirkung von Cu und N auf Pflanzenertrag und Qualität. Arch. Acker- u.Pflanzenbau u. Bodenkde. 15, 763-769 (1971)

BRONSART, H.V.: Erhöhung des Vitamin C-Gehaltes durch Mn-Düngung. Z.f.Pflanzenernähr., Düng.,Bodenkde. 51, 153-157 (1950)

BROWN, J.C. and AMBLER, J.E.: Further characterization of iron uptake in two genotypes of corn. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 34, 249-252 (1970)

BROWN, J.C., BELL, W.D.: Iron uptake dependent upon genotype of corn. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 33, 99-101 (1969)

BROWN, J.C., TIFFIN, L.O. and HOLMES, R.S.: Carbohydrate and organic acid metabolism with C-14 distribution affected by copper in Thatcher wheat. Plant Physiol. 33, 38-42 (1958)

BROWN, J.C., HOLMES, R.S., SHAPIRO, R.E. and SPECHT, A.W.: Effects of phosphorus and copper salts on iron chlorosis of rice in flooded and nonflooded soil and the associated enzymatic activity. Soil Sci. 79, 363-372 (1955)

BROWN, J.C. and STEINBERG, R.A.: Iron and copper enzymes in leaf lamina of tobacco when deficient in micronutrients or grown on calcareous and organic soils. Plant Physiol. 28, 488-494 (1953)

BURLESON, C.A., DACUS, A.D. and GERARD, C.J.: The effect of phosphorus fertilization on the zinc nutrient of several irrigated crops. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 25, 365-368 (1961)

BURSTRÖM, H.: Die Rolle des Mangans bei der Nitratassimilation. Planta 30, 129-150 (1939/40)

BURSTRÖM, H.: Über die Schwermetallkatalyse der Nitratassimilation. Planta 29, 292-305 (1939)

CHAPMAN, H.D.: Plant analysis values suggestive of nutrient status of selected crops. In: Soil testing and plant analysis II. Plant analysis. Madison, Wisc.(USA) Publ.Soil Sci.Soc.Amer. (1967)

CHAPMAN, H.D., VANSELOW, A.P., and LIEBIG, G.F.: The production of citrus mottle-leaf in controlled nutrient cultures. J.Agric.Res. 55, 365-379 (1937)

CHRUSLOVA, S.G.: Der Einfluss beweglicher Phosphate auf die Ernährung der Pflanze mit Eisen. Zit. in LZ II, 2, 1255 (1966) in Russ.

COLLINS, J.F. and BUOL, S.W.: Patterns of iron and manganese precipitation under specified Eh-pH conditions. Soil Sci. 110, 157-162 (1970)

COTTER, D.J. und MISHRA, U.N.: Die Bedeutung der organischen Substanz für das Mn-Gleichgewicht im Boden. Plant and Soil 29, 439-448 (1968)

CZUBA, ROMAN, STRAHL, ANTONI und KAMINSKA, WANDA: Untersuchungen über die Verteilung pflanzenverfügbarer Elemente in Bodenprofilen. 2. Mitteilung: Gehalt an verfügbarem Bor, Kupfer, Molybdän und Mangan in Bodenprofilen. Zit. in LZ II, 15, 1570 (1970) im Russ.

DAVIES, R.J., CHESHIRE, M.V. and GRAHAM-BRYCE, I.I.: Retention of low levels of copper by humic acid. J.Soil.Sci. 20, 65-71 (1969)

DEB, D.L. and SCHEFFER, F.: Studies in the availability of applied manganese to oat in some soils of West Germany. Agrochimica, Pisa 14, 496-504 (1970)

DEMETRIADES, S.D.: Chromatographic detection of free amino acids in normal and iron deficient plants of Hibiscus esculentus. Nature 177, 95 (1956)

DENSCH, A. und HUNNIUS, W.: Versuche mit Kupfersulfat. Z.f. Pflanzenernähr., Düngg. und Bodenkde. 3, 369-386 (1924)

DOLAR, S.G. and KENNEY, D.R.: Availability of Cu, Zn and Mn in soils. I. Influence of soil pH, organic matter, and extractable phosphorus. J.Sci.Food Agric. 22, 273-278 (1971)

DOLAR, S.G. and KENNEY, D.R.: Availability of Cu, Zn and Mn in soils. II. Chemical extractability. J.Sci.Food Agric. 22, 279-282 (1971)

DOLAR, S.G., KENNEY, D.R. and WALSH, L.M.: Availability of Cu, Zn and Mn in soils. III. Predictability of plant uptake. J.Sci.Food Agric. 22, 282-286 (1971)

DONEY, R.C., SMITH, R.L. and WIEBE, H.H.: Effects of various levels of bicarbonate, phosphorus and pH on the translocation of foliar-applied iron in plants. Soil Sci. 89, 269-275 (1960)

EATON, G.W. and JOHN, M.K.: Effects of lime and manganese upon growth and mineral composition of Pea cv (Dark skin perfection) Agron.J. 63, 219-221 (1971)

EBERT, K., THALMANN, E., WAHL, H. und GÖRLITZ, H.: Einfluss hoher Stickstoffgaben und der P-Düngerform auf den Mikronährstoffgehalt und - Entzug landwirtschaftlicher Nutzpflanzen auf sandigen Böden. Archiv f. Acker- u. Pfl.-bau u. Bodenkde., 15, 841-850 (1971)

ELLIOT, J.M.: Effect of applied manganese, sulfur, and phosphorus on the manganese content of oats and flue-cuntobacco. Canad.J.Soil Sci. 49, 277-285 (1969)

ERKAMA, J.: Über die Rolle von Cu und Mn im Leben höherer Pflanzen. Am.Acad.Sci.Fenn.Ser. 25, (1947) A. II. Nr. 1-105

ERNST, W.: Der Einfluss der P-Versorgung sowie die Wirkung von ionogenem und chelatisiertem Zink auf die Zn- und P-Aufnahme einiger Schwermetallpflanzen. Plant Physiol. 21, 323 -333 (1968)

FELLERS, C.R.: The effect of inoculation, fertilizer treatment and certain minerals on the yield, composition and nodule formation of soybeans. Soil Sci. 6, 81-119 (1918)

FORTINI, S.: Bei Gemüsepflanzen kann von einem P-Fe-Antagonismus nicht gesprochen werden. Zit. in LZ II, 7, 2670-2671 (1962) in Ital.

FRANK, B. und KRÜGER, F.: Über den Reiz, welchen die Behandlung mit Kupfer auf die Kartoffelpflanze hervorbringt. Ber.dtsch.Bot.Ges. 12, 8-11 (1894)

GANIRON, R.B., ADRIANO, D.D. and PAULSEN, G.M.: Effect of phosphorus carriers and zinc sources on phosphorus-zinc interaction in corn. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer.33, 306-309 (1969)

GÄRTEL, W.: Die Bedeutung der Spurennährstoffe im Weinbau. Landw.Forsch. 15, Sonderheft 121-132 (1962)

GÄRTEL, W.: P-Überdüngung als Ursache von Zn-Mangel bei Reben. Biologische Bundesanstalt für Land- u. Forstwirtschaft, Inst.f.Rebenkrankheiten, Bernkastel-Kues. (Sonderdruck aus der deut.Weinbau Heft 25 (1968)

GERICKE, S. und KURMIES, B.: Die kolometrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. Z.Pflanzenernähr.Düngg. u. Bodenkde. 59, 235-247 (1952)

GIORDANO, P.M., MORTVEDT, J.J. and PAPENDICK, R.I.: Response of corn (Zea mays L.) to zinc as affected by placement and nitrogen source. Proc Soil Sci.Soc.Amer. 30, 767-770 (1966)

GREENWOOD, A.N. and HALLSWORTH, E.G.: Studies on the nutrition of forage legumes. II. Some interactions of calcium, phosphorus, copper, and molybdenum in the growth and chemical composition of (Trifolium subterraneum L.) Plant and Soil 12, 97-128 (1960)

GUINLAN-WATSON, T.A.: Aldose activity in zinc-deficient plants. Nature, (London) 167, 1033-1034 (1951)

GUPTA, UMESH, C.: Influence of various organic materials on the recovery of molybdenum and copper added to sandy clay loam soil. Plant and Soil, The Hague, 34, 249-253 (1971)

GUPTA, UMESH, C.: Effects of manganese and lime on yield and the concentrations of manganese, molybdenum, boron copper and iron in the boot stage tissue of barley. Soil Sci. 114, 131-136 (1972)

GUPTA, UMESH, C., CHIPMAN, E.W. and MACKAY, D.C.: Influence of manganese and pH on chemical composition, bronzing of leaves, and yield of carots grown on acid sphagnum peat soil. Proc.Soil Sci. Soc.Amer. 34, 762-764 (1970)

HAAS, A.R.C.: Injurious effects of manganese and iron deficiencies on the growth of citrus. Hilgardia 7, 181-206 (1932)

HAAS, A.R.C.: Deficiency chlorosis in citrus. Soil Sci. 42, 435-444 (1936)

HAAS, A.R.C.: Phosphorus content of citrus and factora affecting it. Soil Sci. 41, 239-256 (1936)

HAAS, A.R.C. and QUAYLE, H.J.: Copper content of citrus leave and fruit in relation to exanthema and fumigation injury. Hilgardia 9, 143-177 (1935)

HALIM, A.H., WASSOM, C.E. and ELLIS, R. jr.: Zinc deficiency symptoms and zinc phosphorus interactions in several strains of corn (Zea mays L.) Agron.J. 60, 267-271 (1968)

HEINTZE, S.G.: Manganese-phosphorus reactions in aequeous systems and the effect of applications of monocalcium phc phate, on the availability of manganese to oats in an alkaline fen soil.- Plant and Soil 29, 407-423 (1968)

HEWITT, E.J.: The role of mineral elements in the activity of plant enzyme systems. In: Handbuch d.Pflanzenphysiologie v.W. RUHLAND, Springer-Verlag, Berlin, Bd. 4, 427-481 (1958)

HOAGLAND, D.R.: Some aspects of the salt nutrition of higher plants. Bot.Rev. 3, 307-334 (1937)

HODGSON, J.F.: Chemistry of the micronutrient elements in soils. Advan.agron. 15, 119-150 (1963)

HÖFNER,W.: Untersuchungen über die Auswaschung und Sorption des Zinks im Boden und über die Zn-Aufnahme der Pflanze. Dissertation Giessen (1957)

HÖFNER, W.: Zur Aufnahme von zwei- und dreiwertigem Eisen durch mono- und dikotyle Pflanzen in Wasserkultur. Z.f.Pflanzenernähr. u. Bodenkde. (im Druck)

HOLMES, R.S.: Effects of phosphorus and pH on iron chlorosis of Blueberry in water culture. Soil Sci. 90, 374-379 (1960)

HOSSNER, L.R. and BLANCHAR, R.W.: Manganese reactions and availability as influenced by pH and pyrophosphate content of ammonium phosphate fertilizers. Proc.Soil Sci.Soc. Amer. 34, 509-512 (1970)

HOSSNER, L.R. and RICHARDS, G.E.: The effect of phosphorus source on the movement and uptake of band applied manganese. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 32, 83-85 (1968)

ILJIN, W.S.: Metabolism of plants affected with lime-induced chlorosis (calciose). Plant and Soil 3, 239-256 (1951)

ISHIZUKA, Y. and ANDO, T.: Wechselwirkung zwischen Mn und Zn im Wachstum von Reispflanzen. Zit. in Z.f.Pflanzenernähr. u.Bodenkde. 124, 183 (1969)

JACOBSON, L. and OERTLI, J.J.: The relation between iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves. Plant Physiol. 31, 199-204 (1956)

JELENIC, Dj. B. und DZAMIC, R.: Der Einfluss von Phosphatdüngern auf den Gehalt an Mn, Cu und Fe in den Blättern von Ausdauerndem Weidelgras (Lolium perenne) auf sauren und neutralen Böden. Zit.in LZ. II 17, 604 (1972)

JENSEN, G.H.: Toxic limits and stimulation effects of some salts and poisons on wheat. Bot.Gaz.43, 11 (1907)

JONES, J.B. jr.: Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: Soil testing and plant analysis II. Plant analysis. Madison, Wisc. (USA) Publ.Soil.Sci.Soc. Amer. S. 49-58 (1967)

JUDEL, G.K. u. HEILENZ, S.: Erfahrungen in der Mineralstoffanalyse von biologischem Material mit Hilfe des Atom-Absorptions-Spektralphotometers SP 90 Leitz.- Mitt.f.Wiss. u.Technik 4. 217-220 (1969)

KAHN, D.H.: Response of sweet corn and rice to phosphorus, zinc, and calcium carbonate on acid Glenview soil. Soil Sci. 108, 424-428 (1969)

KANDA, M.: Studien über die Reizwirkung einiger Metallsalze auf das Wachstum höherer Pflanzen. J.Coll.Sci.Univ.Tokyo 19, 1 (1904)

KATALYMOW, M.V.: Mikronährstoffe und Mikronährstoffdüngemittel. Berlin, VEB Dt.Landwirtschaftsverlag (1969)

KENTEN, R.H. and MANN, P.J.: The oxydation of certain dicarboxylic acids by peroxidase systems in presence of manganese. Biochem.J. 53, 498-505 (1953)

KESSLER, E.: Nitrate assimilation by plants. Ann.Rev.Plant Physiol. 15, 57-73 (1964)

KICK, H.: Anorganische Stoffe, Spurenelemente. In.: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung von H. LINSER I/ 1, S. 114-121. Springer-Verlag, Wien-New York (1969)

KLEIN, D. and MANN, T.: Carbonic anhydrase purification and nature of the enzyme. Biochem.J. 34, 1163-1176 (1940)

KLEIN, G. und ZIESE, W.: Mangansalze als Arginaseaktivatoren. Klin.Wochenschr. I, 205-206 (1935)

KOCK, P.C.de., CHESHIRE, M.V. and HALL, A.: Comparison of the effect of phosphorus and nitrogen on copper-deficient- and sufficient oats. J.Sci.Food and Agric. London, 22, 437-440 (1971)

KOCK, P.C. de. and WALLACE, A.: Ex ss phosphorus and iron chlorosis. Calif.Agric. 19, 3-4 (1965)

KOVALENKO, V.F.: Über die Rolle des Kupfers bei Oxydationsvorgängen in Pflanzen. Zit.inLZ. II. 15, 1629 (1970) in Russ.

KUBOWITZ, F.: Schwermetallproteide und Pyridinproteide, die Komponenten blausäure- und kohlendioxydempfindlicher Alkoholdehydrasen. Biochem.Z. 293-308 (1937)

KÜHN, H.: Über die Anreicherung von Mikronährstoffen in Pflanzen. Habilitationsschrift Landw.Fakultät Giessen (1961)

LANG, K.: Biochemie der Ernährung. Steinkopff-Verlag, Darmstadt 1970

LARSEN, S.: The effect of phosphate application on manganese content of plants grown on neutral and alkaline soil. Plant and Soil 21, 37-42 (1964)

LIEBICH, H.: Quantitative Untersuchungen über das Eisen in den Chloroplasten und übrigen Zellbestandteilen von Spinacea oleracea. Z.Bot. 37, 128-157 (1941)

LINDSAY, W.L.: Nature of the reaction of monocalcium phosphate monhydrate II. Dissolution and precipitation reactions involving iron, aluminium , manganese and calcium.Proc. Soil. Sci.Soc.Amer. 23, 12-18 (1959)

LINSAY, W.L. and STEPHENSON, H.F.: Nature of the reactions of monocalcium phosphate monhydrate in soils. I. The solution that reacts with the soil. Proc.Soil.Sci.Amer. 23, 18-22 (1959)

LINSER, H. und SCHMID, K.: Tabak. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung von H. LINSER. Springer-Verlag, Wien-New York. Bd. III, S. 1065-1096 (1969)

LIPMAN, C.B. and MACKINNEY, G.: Proof of the essential nature of copper for higher green plants. Plant Physiol. 6, 593-599 (1931)

LOHMANN, K. und KOSSEL, A.J.: Über die Einwirkung des Zinks und anderer Metalle auf die Carboxylase. Naturwissenschaften 27, 595-598 (1939)

LUNDEGÅRDH, H.: Die Nährstoffaufnahme der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Jena (1932)

LUNDEGÅRDH, H.: Mn als Katalysator der Pflanzenatmung. Planta, Berlin, 29, 419-476 (1939)

MACK, G.L. and KERTESZ, L.J.: The oxydation of ascorbic acid by metallic catalysts. Food research 1, 377 (1936)

MAYR, H.H.und KÜHN, H.:Bruttozusammensetzung von Kulturpflanzen. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, von H. LINSER, I. Band, S. 9-50. Springer-Verlag, Wien-New York (1969)

MEDINA, A. and NICHOLAS, D.J.D.: Hyponitrite reductase in Neurospora. Nature 179, 533-534 (1957)

MEDINA, A. and NICHOLAS, D.J.D.: Metallo-enzymes in the reduetion of nitrite to ammonia in Neurospora. Biochim.Biophys. Acta 25, 138-141 (1957)

MENGEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart (1968)

MESSING, J.H.L.: The effect of lime and superphosphate on manganese toxicity in steamsterilized soil. Plant and Soil 23, 1-16 (1965)

MILLIKAN, C.R.: Effects of different levels of zinc and phosphorus on the growth of subterranean clover (Trifolium subterraneum L.). Austr.J.Agric.Res. 14, 180-205 (1963)

MOAWAD, M.A.: Das Verhalten einiger anorganischer und organischer Eisenverbindungen im Boden und ihre Wirkungen auf Eisenaufnahme, Ertrag und Proteinsynthese von Pflanzen in Wasserkulturen.- Dissertation, Giessen (1968)

MOKRIEVIC, G.J. and JAROVOJ, N.V.: Einfluss von Phosphordüngern auf die Verwertung von Zink durch Pflanzen. Zit. in: LZ. II 16, 584-585 (1971) in Russ.

MORRIS, H.D.: The soluble manganese content of acid soils and its relation to the growth and manganese content of sweet clover and lespedeza. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 13, 363-371 (1948)

MUCKENHIRN, R.J.: Response of plants to boron, copper, and manganese. J.Amer.Soc.Agron. 28, 824-842 (1936)

MURAVIN, E.A. und ZURAVLEVA, S.V.: Wechselwirkung von Phosphor, Molybdän und Kupfer im Prozess der Pflanzenernährung. Zit. in LZ. II 16, 1379 (1971) in Russ.

NASON, A.: The function of metals in enzyme systems. Soil.Sci. 85, 63-77 (1958)

NASON, A., ABRAHAM, R.G. and AVERBACH, B.C.: The enzymatic reduction of nitrate to ammonia by reduced pyridine nucleotides. Biochim.Biophys.Acta. 15, 159-161 (1954)

NASON, A. and EVANS, H.J.: Triphosphopyridine nucleotide - nitrate reductase in Neurospora. J.biol.Chemistry 202, 655-673 (1953)

NEISH, A.C.: Studies on chloroplasts. II. Their chemical composition and the distribution of certain metabolites between the chloroplasts and the remainder of the leef. Biochem. J. 33, 300-308 (1939)

NICHOLAS, D.J.D.: Role of metals in enzyms with special reference to flavoproteins. Nature 179, 800-804 (1957)

NICHOLAS, D.J.D. and GOODMAN, I.: The effects of deficiencies of zinc and iron on some enzyme systems in Neurospora. J.Exper.Bot. 9, 97 - 108 (1958)

OKUNZOW, M.M.: Die Bedeutung des Cu für die Steigerung der Pflanzenerträge, in: Spurenelemente in der Landwirtschaft. Akademie-Verlag Berlin (1958)

PAGE, E.R.: Studies in soil and plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability. Plant a.Soil. 16, 247-257 (1962)

PAGE, E.R., SCHOFIELD-PLAMER, E.K. and MacGREGOR, A.J.: Studies in soil and plant manganese. I. Manganese in soil and its uptake by oats. Plant a.Soil 16, 238-246 (1962)

PAGE, E.R., SCHOFIELD-PALMER, E.K. and MacGREGOR, A.J.: Studies in soil and plant manganese IV. Superphosphate fertilization and manganese content of young oat plants. Plant a.Soil 19, 255-264 (1963)

PARIBOK, T.A.: Einfluss von Mangel an Zink und anderen Spurenelementen auf Gehalt und Verwertung von Phosphor durch die Pflanzen. zit. in LZ.II. 15, 2131 (1970)

PATWARHAN, M.V.: Role of ferrous iron in enzymic transamination. Nature 181, 187 (1958)

PAULER, B.: Der Einfluss einer Cu-, Mo- und Zn-Düngung auf den Proteinstoffwechsel von Spinat und Karotten unter Berücksichtigung von Bildung und Zusammensetzung einzelner Proteinfraktionen.- Dissertation, Giessen (1968)

PAULI, A.W., ROSCOE, ELLIS, jr. and MOSER, H.C.: Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agron.J. 60, 394-396 (1968)

PAULSEN, G.M. and ROTIMI, Q.A.: Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensitivy to phosphorus nutrition. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 32, 73-76 (1968)

PEASLEE, D.E. and FRINK, C.R.: Influence of silicic acid on uptake of Mn, Al, Zn and Cu by tomatoes (Lycopersicum esculentum) grown on a acid soil. Proc.Soil. Sci.Soc.Amer., 33, 569-571 (1969)

PETERSON, W.B.: Zuviel Geschrei um Spurenelemente. Deut.Landw. Presse 92, 23, S. 8 (1969)

PETTINGER, N.A., HENDERSON, R.G. and WINGRAD, S.A.: Some nutritional disorders in corn grown in sand culture.- Phytopathology 22, 33-51 (1932)

POSSINGHAM, J.V.: Mineral nutrition and amino acids in tomato. Austr.J.Biol.Sci. 9, 539-551 (1956)

POSSINGHAM, J.V. and BROWN, R.: The nuclear incorporation of iron and its significance in growth. J.Exper.Bot. 9, 277-284 (1958)

PRABHAKARAN, NAIR, K.P. and COTTENIE, A.: A statistical evaluation of the inter-relationships between particle-size fractions, free iron oxide and trace elements.-J.Soil Sci 22, 203-209 (1971)

PROHASZKA, K. and CSERNI, I.: Der Einfluss steigender Phosphor-Mineraldüngergaben auf den Zn-, Mn-, und Cu-Gehalt der Körner von Mais bei Anbau in Monokultur auf Sandboden zwischen Donau und Theiß. Zit. in LZ. II 10, 2352 (1970) in Ungar.

REED, H.S.: Effects of zinc deficiency on phosphate metabolism of tomate plant. Amer.J.Bot. 33, 778-784 (1946)

REED, H.S.: The reduction of copper and zinc salts to leaf structure. Amer.J.Bot. 26, 29-33 (1939)

REUTHER, W. and CRAWFORD, C.L.: Effect of certain soil and irrigation treatments on citrus chlorosis in a calcareous soil. I. Plant responses. Soil.Sci. 62, 477-491 (1946)

REUTHER, W., GARDNER, F.E., SMITH, P.F. and ROY, W.T.: Phosphate fertilization with oranges in Florida. I. Effects on yield, growth, and leaf and soil composition. Proc.Amer. Soc.Hort. Sci. 53, 71-84 (1949)

REUTHER, W., SMITH, P.F. and SPECHT, A.W.: Accumulation of the major bases and heavy metals in Florida citrus soils in relation to phosphate fertilizers. Soil Sci. 73, 375-381 (1958)

ROBERT, E. LUCAS: Effects of copper fertilization on carotene, ascorbic acid, protein and copper contents of plants grown on organic soil. Soil Sci. 65, 461-469 (1948)

ROSCOE, E.jr., DAVIS, F.J., THURLOW, D.L.: Zinc availability in calcareous Michigan soils as influenced by phosphorus level and temperature. Proc.Soil.Sci.Soc.Amer. 28, 83-86 (1964)

RUDRA, M.N.: Role of manganese in the biological synthesis of ascorbic acid.Nature. London 143, 811 (1939)

RUSS, E.: Über die Bestimmung von pflanzenaufnehmbarem Kupfer und Mangan in Böden unter besonderer Berücksichtigung der Keimpflanzenmethode.- Dissertation, Giessen (1958)

SCHACHTSCHABEL, P.: Das Mangan im Boden. Die Phosphorsäure 15, 133-139 (1955)

SCHÄFER, K.H.: Mikronährstoffdüngemittel. In.: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung von H. LINSER, Springer - Verlag Wien-New York II/ 2, S. 1320-1344 (1969)

SCHÄFER, K. und KICK, H.: Die Nachwirkung von schwermetallhaltigem Abwasserklärschlamm in einem Feldversuch. Landw. Forschung 23, 152-161 (1970)

SCHARRER, K.: Aufgaben und Wikrungen der Mikronährstoffe in der lebenden Pflanze, In: Hundert Jahre erfolgreiche Düngewirtschaft. J.D. Sauerlander's Verl. Frankfurt(M) (1958)

SCHARRER, K.: Biochemie der Spurenelemente. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg (1955)

SCHARRER, K. und KÜHN, H.: Die Bedeutung der Mikronährstoffe für Pflanzen, Boden, Tier und Mensch. Chem.Ztg. 79, Heft 12/13 (1955)

SCHARRER, K. und KÜHN, H.: Studien über die Aufnahme der Phosphorsäure aus markiertem Superphosphat. Landw.Forschg. 7, 153-158 (1955)

SCHARRER, K. und KÜHN, H.: Verschiedene Versuche über die Aufnahme der Phosphorsäure aus markierten Phosphatdüngemitteln. Landw.Forschg. 9, 1-19 (1956)

SCHARRER, K. und MENGEL, K.: Mikronährstoffe. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung von H. LINSER. Springer Verlag, Wien-New York I/1 S. 456-518 (1969)

SCHARRER, K. und SCHAUMLÖFFEL, E.: Die Bestimmung kleinster Mengen Kupfer als Cu-Diäthyldithiocarbaminat durch Veränderungsreaktion. Z.Pflanzenernähr.Düng.,Bodenkde. 87, 1-15 (1959)

SCHARRER, K. und WERNER, W.: Über die Abhängigkeit des Ascorbinsäuregehalts der Pflanze von ihrer Ernährung. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde. 77, 97-110 (1957)

SCHMITT, L.: Die Spurennährstoffe in der modernen Düngelehre. J.D. Sauerlander's Verlg. Frankfurt (M) (1965)

SHARMA, K.C., KRANTZ, B.A., BROWN, A.L. and QUICK, J.: Interaction of zinc and phosphorus in top and root of corn and tomato. Agron.J. 60, 453-456 (1968,a)

SHARMA, K.C., KRANTZ, B.A., BROWN, A.L. and QUICK, J.: Interaction of phosphorus and zinc on two drawfs wheat. Agron. J. 60, 329-330 (1968, b)

SHUKLA, U.C.: Organische Substanz und Verfügbarkeit des Zinks in Böden. Zit. in: LZ II 17, 1551 (1972) in Holländ.

SELEVCOVA, G.A.: Der Einfluss langwährender Anwendung von Phosphordüngemitteln auf den Gehalt an beweglichem Zink in Rasenpodsalböden. Zit. in: LZ. II, 15 (1970) in Russ.

SIMAN, A., CRASOCK, F.W., NICHOLIS, P.J. and KIRTON, H.C.: Effects of calcium carbonate and ammonium sulfate on manganese toxicity in an acid soil. Austr.J.agric.Res. 22, 201-214 (1971)

SINGH, Y. and DARTIGUES, A.: Efficiency of polyphosphates and orthophosphate in zinc-deficient soils. Plant and Soil, 32, 397-411 (1970)

SKINNER, J.J. and THOMAS, W.A.: Report of conference on strawberry investigations. North Carolina Agric.Exp.Stat. Circ. 83 (1933)

SNIDER, H.J.: Manganese in some Illinois soils and crops. Soil Sci. 56, 187-195 (1943)

SOMMER, A.L.: Copper as an essential for plant growth. Plant Physiol. 6, 339-345 (1931)

SPENCER, W.F.: Effects of heavy application of phosphate and lime on nutrient, uptake, growth, freeze injury, and root distribution of grapefruit. Soil Sci. 89, 311-318 (1960)

SPENCER, W.F.: Effects of copper on yield and uptake of phosphorus and iron by citrus seedlings grown at various phosphorus levels. Soil Sci. 102, 296-299 (1966)

SREE, U.S. and PRATT, P.F.: Dissolution of dicalcium phosphate in relation to iron oxide content of acid soils. Soil Sci. 109 , 35-39 (1970)

STECKEL, J.E., BERTRAMSON, B.R. and OHLROGGE, A.J.: Manganese nutrition of plants as related to applied superphosphate. Proc.Soil Sci. Soc.Amer. 13, 108-111 (1948)

STEWARD, F.C. and MARGOLIS, D.: The effects of manganese upon the free amino acids and amides of the tomato plants. Contrib.Boyce Thompson Inst. 21, 393-397 (1962)

STUKENHOLTZ, D.D., OLSEN, R.J., GOGAN, G. and OLSEN, R.A.: On the mechanism of phosphorus - zinc interaction in corn nutrition. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 30, 759-763 (1966)

SZALAY, A. and SZILAGYI, M.: Laboratory experiemtns on the retention of micronutrients by peat humic acids. Plant and Soil 29, 219-224 (1968)

TERMAN, G.L., ALLEN, S.E. and BRADFORD, B.N.: Response of corn to zinc as affected by nitrogen and phosphorus fertilizers. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 30, 119-125 (1966)

TRUONG, N.V., ANDREW, C.S. and WILSON, G.L.: Manganese toxicity in pasture legumes II. Effects of pH and molybdenum levels in the substrate. Plant and Soil, The Hague 34,547-560 (1971)

TSUI, C.: The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. Amer.J.Bot. 35, 172-179 (1948)

UDO, E.J., BOHN, H.L. and TUCKER, T.C.: Zinc adsorption by calcareous soils. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 34, 405-407 (1970)

WALLACE, A.M., MÜLLER, R.T., LUNT, O.R., ASHENOFT,R.T. and SHANNON, L.M.: Comparisons of 5 chelating agents in soils, nutritions, solutions and plant responses. Soil Sci. 80, 101-108 (1955)

WALLACE, A., ROMNEY, E.M. and HALL, V.G.: Effects of soil temperature and zinc application in yield and micronutrient content of four crop species grown together in a glashouse. Agron.J. 61, 567-568 (1969)

WAYGOOD, E.R., OAKS, A. and MacLACHAN, G.A.: Enzymatically catalyzed oxidation of indolacetic acid. Cand.J.Biol. Sci. 34, 905-926 (1956)

WEAR, J.J.: Effect of soil pH and calcium on uptake of zinc by plants. Soil Sci. 81, 311-315 (1956)

WERMINGHAUSEN, B.: Nährstoffmangelerscheinungen im Obstbau und ihre Behebung. Obst- u. Gartenbau Verlg. München (1957)

WHITE, R.P.: Effects of lime upon soil and plant manganese levels in an acid soil. Proc.Soil Sci.Soc.Amer. 34, 625-629 (1970)

WIECHMANN, H.: Einfluss des Fulvosäure/Huminsäure-Verhältnisses auf die Extraktion organisch gebundenen Eisens aus Sandböden. Mitt.dt.bodenkundl.Gesellsch.Göttingen 10, 165-167 (1970)

WINOGRADOW, A.P.: Spurenelemente in der Landwirtschaft.- Neu bearbeitet und in deutscher Sprache herausgegeben von TRENEL, M. Akademie-Verlag, Berlin (1958)

ZADDACH, M.: Die analytische Bestimmung des Mangans und Untersuchungen über die Verlagerung des Mangans im Boden. Dissertation, Giessen (1966)

ZAHIRI, A.: Einfluss einer variierten Phosphat-, Kalium- und Kupferversorgung auf System- und Produktwachstum bei Sommerweizen. Dissertation, Giessen (1972).

ANHANG

Tabelle 1: 1) Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union")
P- und Mikronährstoff-Gehalte (mg/g bzw. γ/g lufttr.Sub.)
(Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

VR*	Versuchs-düngg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel					Spross				
		P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0	3,2	103	141	29,4	90	8,7	69	93	21,2	80
II	20	3,4	105	111	36,9	85	10,7	73	104	20,7	83
III	60	3,7	105	78	26,3	78	12,6	66	95	25,3	82
IV	100	4,0	107	83	32,2	63	13,2	74	104	28,3	95
V	140	4,3	98	77	30,1	59	13,8	75	96	39,3	79
VI	180	5,0	95	76	29,8	56	14,4	69	99	25,1	72

*s.Seite 40-41

Tabelle 2: 2)Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union")
P-und Mikronährstoff-Gehalte (mg/g bzw. γ/g lufttr.Sub.)
(Analytische Mittelwerte aus 4 biologischen Parallelen)

VR	Versuchs-düngg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel					Spross				
		P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0	2,6	77	130	29,8	82	8,9	61	88	24,1	74
II	100	3,9	75	74	26,7	72	9,9	56	83	23,9	74
III	300	4,4	72	75	28,1	73	10,2	56	86	24,7	68
IV	600	4,5	72	68	28,8	77	10,5	52	86	25,4	68
V	900	5,0	72	63	29,4	78	10,5	52	86	24,6	68
VI	1200	4,8	76	53	29,8	73	10,5	52	90	23,8	62

Tabelle 3: 3) Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union")
P- und Mikronährstoff-Gehalte (mg/g bzw. γ/g lufttr.Sub.)
(Analytische Mittelwerte aus 4 biologischen Parallelen)

VR	Versuchs-düngg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel					Spross				
		P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0	3,1	49	149	17,5	643	10,0	64	106	21,5	68
II	100	4,2	70	138	22,0	351	10,3	71	170	28,5	62
III	300	5,9	106	173	35,5	219	11,4	62	192	23,1	69
IV	600	6,9	180	155	40,4	209	13,0	64	120	21,5	82
V	900	7,4	246	147	36,2	161	16,0	70	107	17,3	74
VI	1200	7,9	198	133	40,3	111	17,9	92	97	19,1	83

Tabelle 4: 1. Ernte (15 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg/g bzw. γ/g ATM)
(Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

		Wurzel					Spross				
VR*	Gef.	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	2,7	89	30	71	360	1,2	31	51	11,4	115
	b.	2,4	90	38	69	844	0,9	49	51	9,0	114
II	a.	3,9	57	35	73	487	2,8	36	46	10,8	90
	b.	3,6	73	35	83	254	1,9	30	40	10,8	90
III	a.	5,5	121	96	118	805	3,6	53	62	11,5	90
	b.	6,0	81	53	100	618	4,5	38	41	10,5	80
IV	a.	8,2	65	37	134	890	5,1	41	53	8,1	78
	b.	6,9	115	32	149	825	4,2	43	42	7,8	59
V	a.	9,6	202	83	195	1147	5,0	53	58	9,1	66
	b.	9,8	186	57	256	1204	5,2	54	51	9,5	66
VI	a.	10,2	138	57	184	1270	5,0	57	55	8,5	59
	b.	9,5	168	50	181	1196	5,0	43	48	9,0	67

*s. Seite 42

Tabelle 5: 2. Ernte (29 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

		Wurzel					Spross				
VR	Gef.	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	1,8	74	26	108	941	1,0	73	47	12,1	135
	b.	1,6	94	33	85	493	1,1	70	48	10,1	136
II	a.	2,0	43	29	65	358	1,6	40	31	6,5	104
	b.	3,1	80	36	80	1116	2,4	51	45	7,7	107
III	a.	4,7	57	21	67	377	3,3	51	34	7,4	134
	b.	4,2	41	25	54	409	3,1	34	32	6,3	93
IV	a.	5,7	90	36	79	934	3,5	36	33	6,1	84
	b.	4,4	104	33	90	885	3,6	44	39	6,1	101
V	a.	5,2	83	37	96	1357	4,0	38	49	6,8	101
	b.	6,8	73	25	78	970	4,5	35	45	6,9	94
VI	a.	5,6	63	32	99	1476	5,0	44	58	8,8	104
	b.	7,9	96	30	65	777	4,8	37	42	5,7	101

Tabelle 6: 3. Ernte (43 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalt von Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

VR	Gef.	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Spross P mg	Spross Zn γ	Spross Mn γ	Spross Cu γ	Spross Fe γ
I	a.	1,4	74	30	68	807	1,1	55	42	6,5	151
	b.	1,4	47	32	45	527	1,1	45	39	6,2	151
II	a.	1,7	40	30	45	367	1,3	40	29	5,0	118
	b.	1,7	36	19	51	358	1,5	34	29	5,3	119
III	a.	3,3	73	43	53	484	2,8	43	40	5,8	128
	b.	3,5	76	37	43	688	3,0	46	47	5,8	135
IV	a.	4,6	52	41	58	464	3,5	32	32	4,7	119
	b.	5,1	56	56	61	548	3,4	34	32	5,0	122
V	a.	4,7	56	21	41	536	4,1	35	34	4,9	100
	b.	7,9	97	53	51	996	5,1	44	49	8,4	125
VI	a.	8,7	64	70	59	621	5,1	38	40	5,1	117
	b.	5,0	35	18	47	275	4,3	41	30	4,1	100

Tabelle 7: 1. Ernte (22 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais")(mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

		Wurzel					Spross				
VR*	Gef.	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	8 Gef.	2,8	109	60	18,9	1035	3,9	70	110	12,6	159
II	8 Gef.	4,5	116	46	18,0	841	6,8	60	110	14,6	179
III	8 Gef.	4,7	86	46	25,5	1056	6,8	56	105	12,3	137
IV	8 Gef.	4,8	99	37	23,9	901	7,5	64	118	13,0	157
V	8 Gef.	5,1	104	56	26,1	1071	8,1	66	135	11,5	137
VI	8 Gef.	5,7	114	54	24,6	920	8,5	60	147	10,9	126

*s. Seite 44

Tabelle 8: 2. Ernte (32 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytischer Mittelwert aus 2 biologischen Parallelen)

VR	Gef.	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Spross P mg	Spross Zn γ	Spross Mn γ	Spross Cu γ	Spross Fe γ
I	a.	1,6	56	205	47,5	626	2,3	53	82	10,9	223
	b.	1,5	51	217	51,5	537	2,3	59	81	9,9	175
II	a.	3,0	42	99	42,1	372	4,3	48	94	8,9	181
	b.	3,2	45	111	42,5	458	5,0	43	81	9,1	191
III	a.	4,5	51	105	53,2	306	6,1	47	93	10,0	169
	b.	4,6	48	122	47,1	308	5,3	45	97	9,2	212
IV	a.	6,5	58	150	59,9	454	7,3	48	105	9,9	175
	b.	5,7	47	110	50,2	348	7,0	49	123	11,0	218
V	a.	7,2	58	117	55,5	330	7,7	49	117	10,0	172
	b.	6,2	54	130	54,4	337	7,2	49	117	9,7	191
VI	a.	7,9	58	136	60,7	396	7,7	55	137	9,8	180
	b.	6,8	59	101	47,4	285	7,6	55	127	9,2	196

Tabelle 9: 3. Ernte (43 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais")(mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

		Wurzel					Spross				
VR	Gef.	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	1,1	44	171	34,8	146	1,3	43	61	6,1	152
	b.	1,1	37	167	29,6	165	1,3	40	71	6,2	132
II	a.	2,0	30	94	25,9	136	2,8	37	74	5,0	146
	b.	2,1	34	109	34,4	131	3,2	37	86	5,3	140
III	a.	3,7	48	81	35,7	120	3,8	39	85	5,4	145
	b.	3,6	35	81	33,3	113	3,9	37	82	5,2	154
IV	a.	4,8	39	85	39,1	130	4,4	41	85	5,6	159
	b.	4,7	40	85	37,4	109	4,5	41	82	5,4	154
V	a.	5,7	45	93	43,0	113	5,0	40	94	5,2	140
	b.	6,4	50	124	50,5	151	5,1	40	78	5,2	156
VI	a.	6,4	52	106	51,8	107	5,8	41	110	5,9	140
	b.	6,9	57	99	46,9	131	5,7	40	90	5,6	154

Tabelle 10: 4. Ernte (52 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Mandmais")(mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

VR	Gef.	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Spross P mg	Spross Zn γ	Spross Mn γ	Spross Cu γ	Spross Fe γ
I	a.	1,2	60	119	35,2	154	1,1	40	56	4,5	158
	b.	1,1	57	137	34,0	144	1,1	38	51	4,5	141
II	a.	2,1	36	80	30,6	131	2,3	33	60	4,3	136
	b.	2,0	52	72	25,7	124	2,3	37	59	5,0	146
III	a.	3,3	47	71	30,4	130	3,1	30	61	4,6	149
	b.	3,5	37	52	28,8	130	3,2	34	59	4,3	205
IV	a.	4,4	50	74	36,6	101	3,9	33	66	5,0	144
	b.	4,4	54	92	35,9	120	3,5	34	60	5,0	183
V	a.	5,7	52	84	38,2	95	4,3	31	69	4,7	140
	b.	5,6	59	86	39,4	118	4,4	39	82	5,9	157
VI	a.	6,5	103	99	40,6	124	4,7	37	75	5,5	144
	b.	6,7	94	106	40,9	124	4,9	34	70	4,9	143

Tabelle 11: 5. Ernte (62 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Analytische Mittelwerte aus 2 biologischen Parallelen)

		Wurzel					Spross				
VR	Gef.	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	1,1	51	143	26,3	219	1,0	50	64	4,2	145
	b.	0,9	47	121	31,0	188	0,9	38	39	4,2	149
II	a.	1,9	53	79	29,6	179	1,7	38	49	3,9	124
	b.	1,9	40	48	22,9	182	1,6	27	54	3,8	132
III	a.	2,7	48	72	34,4	151	2,5	35	48	3,4	143
	b.	2,5	52	62	29,4	170	2,4	32	47	3,3	140
IV	a.	3,9	44	77	37,4	168	3,1	29	46	3,3	124
	b.	3,9	51	74	29,2	139	2,9	30	47	3,4	128
V	a.	5,2	48	78	38,4	131	3,7	28	53	3,3	120
	b.	5,2	43	79	42,1	144	4,2	31	56	3,3	121
VI	a.	6,1	69	81	41,4	146	3,8	32	53	3,4	125
	b.	6,3	65	86	41,6	109	3,9	32	55	3,3	145

Tabelle 12: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

1.Ernte am 17.3.1971 (Vereinzelung) — 2.Ernte am 1.4.1971 (Vereinzelung)

	Boden - Annerod									
	Sproß					Sproß				
VR*	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	2,3	57	183	15,5	336	2,2	60	185	11,3	278
II	3,3	65	150	16,4	318	4,6	73	181	12,0	348
III	4,2	65	137	16,8	335	7,5	64	149	12,6	328
IV	5,2	68	124	17,9	318	9,8	74	134	13,3	325
V	6,2	66	112	16,9	302	11,0	73	119	13,0	327

	Boden - Kleinlinden									
	Sproß					Sproß				
VR*	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
	2,8	64	158	17,0	365	2,8	45	118	11,6	402
I	5,2	68	137	18,4	375	5,2	55	105	12,1	417
II	5,8	63	141	19,4	405	7,8	55	93	13,4	384
V	7,0	59	129	17,2	415	8,7	55	93	14,2	244
	7,3	53	123	16,9	390	9,3	60	92	11,8	337

* s. Seite 46

Tabelle 13: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

3. Ernte am 26.4.1971 (Bestocken beendet)

Boden-Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,5	36	547	5,6	1548	1,8	108	200	6,8	245
II	2,2	50	682	8,4	4806	4,0	133	179	8,8	251
III	3,1	52	466	8,0	2430	5,5	144	181	9,2	305
IV	4,1	100	439	14,7	3352	9,3	130	151	9,6	245
V	5,0	88	369	8,3	2108	10,1	129	146	9,0	289

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	2,1	69	959	25,5	4155	1,7	95	231	7,6	607
II	2,8	65	293	22,9	2506	4,2	71	88	6,5	336
III	3,6	49	230	18,2	1957	5,9	81	88	7,3	283
IV	4,4	54	283	21,2	1924	7,4	60	82	7,6	258
V	5,0	39	151	19,9	1832	7,7	57	77	7,4	250

abelle 14: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

4. Ernte am 12.5.1971 (im Schossen)

Boden - Annerod

R	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,7	41	450	1,9	1492	0,8	105	168	5,8	239
I	1,5	33	320	3,7	1810	1,8	66	113	5,3	155
II	2,1	43	254	5,0	2269	3,0	72	97	7,1	134
V	2,8	56	224	7,5	1534	5,0	68	91	7,1	116
	3,9	69	257	7,9	1863	5,8	66	86	6,9	93

Boden - Kleinlinden

R	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
	1,4	34	470	11,1	2154	1,5	78	145	7,9	211
	2,1	100	254	-	1842	2,8	52	81	6,1	209
I	2,6	36	175	13,2	1934	4,0	50	54	5,5	163
V	2,7	25	123	17,0	1369	4,7	42	51	5,0	174
	3,8	27	166	16,0	1770	5,0	39	41	6,5	184

Tabelle 15: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

5. Ernte am 26.5.1971 (Halmstreckung)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,8	51	346	3,2	706	0,6	74	150	6,0	150
II	0,8	62	273	4,0	1594	1,0	51	64	4,2	119
III	1,0	51	202	6,5	1556	1,4	52	69	4,3	118
IV	2,2	79	238	10,9	2351	2,8	53	64	4,1	97
V	3,0	80	207	8,8	2194	3,1	59	64	3,5	128

Boden - Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,3	66	345	14,8	2636	1,2	60	87	7,5	161
II	1,4	53	245	10,7	2519	2,0	49	53	5,7	150
III	2,1	48	117	7,8	2108	2,8	44	36	6,7	155
IV	2,5	45	141	15,0	2831	3,1	38	28	6,1	140
V	3,1	55	219	13,5	2771	3,2	45	29	5,9	124

Tabelle 16: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

6. Ernte am 8.6.1971 (Ährenschieben)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,8	47	268	7,1	599	0,9	42	190	5,8	155
II	0,8	39	168	4,8	1128	0,8	32	104	3,7	111
III	1,0	32	137	3,7	1015	1,5	24	90	2,9	113
IV	1,5	54	215	7,6	1516	2,2	33	100	3,1	115
V	1,9	66	203	6,5	1383	2,9	36	79	3,5	128

Boden - Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,2	54	383	23,8	3216	1,3	33	97	4,4	132
II	0,9	30	263	12,7	1879	1,6	30	63	3,3	124
III	1,7	33	237	12,4	1273	2,3	27	61	3,1	113
IV	2,2	39	182	12,9	1484	2,7	32	50	3,6	135
V	2,3	32	204	13,6	1370	2,8	26	50	2,7	142

Tabelle 17: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

7. Ernte am 22.6.1971 (Blüte beendet)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,8	48	249	8,9	969	0,9	54	162	4,3	146
II	0,8	35	189	8,9	1222	0,9	36	87	3,2	101
III	0,9	22	142	6,8	898	1,4	31	73	3,1	109
IV	1,3	36	149	5,2	946	2,2	35	75	3,6	106
V	2,0	40	139	7,5	979	2,7	34	78	3,6	118

Boden Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,7	78	379	28,1	2687	1,2	33	83	4,1	115
II	1,0	22	254	8,7	1194	1,3	30	72	3,4	142
III	1,5	35	155	10,6	1266	2,0	27	78	3,3	157
IV	1,9	19	107	9,3	912	2,2	26	47	3,1	115
V	2,6	36	198	11,1	1185	2,4	27	45	3,1	123

Tabelle 18: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

8. Ernte am 5.7.1971 (Milchreife)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,0	53	259	13,3	1071	0,6	62	118	4,4	135
II	0,9	35	135	7,3	994	0,3	40	97	2,6	136
III	0,9	33	118	6,2	1074	0,6	39	89	2,6	135
IV	1,2	38	136	5,5	1203	1,1	41	87	2,8	140
V	1,8	36	147	5,6	981	1,4	39	85	3,2	165

Boden - Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	1,3	57	283	19,8	1979	0,7	37	91	3,6	191
II	0,9	31	219	11,1	1741	0,5	30	90	2,7	199
III	1,1	37	163	11,5	1638	0,9	26	88	2,9	227
IV	1,4	30	124	9,7	1026	1,1	24	61	2,5	195
V	2,0	42	176	13,7	1115	1,4	28	61	2,7	197

Tabelle 19: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

9. Ernte am 16.7.1971 (Teigreife)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,7	38	223	12,3	844	0,5	49	159	3,1	106
II	0,6	40	125	6,1	829	0,3	28	131	2,0	186
III	0,6	26	75	3,7	654	0,3	32	110	2,5	215
IV	0,8	31	95	4,0	695	0,7	41	118	2,8	196
V	1,0	33	130	6,0	860	1,0	39	103	2,9	231

Boden - Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,7	45	275	17,8	1286	0,5	27	123	2,6	143
II	0,5	24	139	7,6	981	0,4	24	112	1,9	230
III	0,7	19	98	7,4	961	0,5	22	75	2,7	219
IV	1,1	22	121	9,9	970	0,8	22	91	3,1	248
V	1,5	29	137	12,0	901	0,9	26	69	2,5	248

Tabelle 20: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

10. Ernte am 27.7.1971 (Vollreife)

Boden - Annerod

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,8	45	253	19,3	1386	0,3	64	175	3,3	206
II	0,7	35	138	6,7	996	0,2	56	145	2,8	291
III	0,8	36	153	7,2	1228	0,3	52	121	3,5	391
IV	1,0	40	173	7,0	1217	0,5	59	103	3,2	377
V	1,1	39	156	7,2	1131	0,7	62	115	3,7	378

Boden - Kleinlinden

VR	Wurzel					Sproß				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	0,7	68	298	24,0	2492	0,3	39	112	3,6	317
II	0,7	43	255	13,7	1413	0,2	40	115	3,1	338
III	0,8	30	130	9,8	969	0,4	36	112	2,9	368
IV	1,1	41	146	-	1682	0,6	37	108	2,8	341
V	1,6	40	169	17,0	1681	0,8	36	87	3,1	357

Tabelle 21: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat) (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

8. Ernte am 5.7.1971 (Milchreife)

VR	Boden-Annerod					Boden-Kleinlinden				
	Körner					Körner				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	3,5	61	146	7,2	39	3,6	46	99	5,7	39
II	2,5	39	74	5,2	39	3,4	41	66	4,9	35
III	3,0	38	68	4,5	37	4,1	41	60	4,2	35
IV	3,9	41	70	3,9	41	4,0	36	57	4,1	31
V	4,0	43	73	3,8	39	4,0	33	55	3,6	29

P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g lufttr.Sub. (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

9. Ernte am 16.7.1971 (Teigreife)

VR	Boden-Annerod					Boden-Kleinlinden				
	Körner					Körner				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	2,9	68	95	4,7	37	2,4	44	75	4,8	44
II	2,3	36	76	4,3	35	2,8	35	59	3,2	29
III	2,9	33	56	3,1	37	4,0	33	59	2,7	25
IV	3,7	37	56	3,0	43	4,1	33	59	2,9	30
V	4,0	35	56	2,7	37	4,1	28	51	2,8	29

abelle 22: P- und Mikronährstoff-Gehalte von Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g ATM) (Mittelwerte von 2 analytischen Parallelen an jeweils einer Sub.)

10. Ernte am 27.7.1971 (Vollreife)

R	Boden-Annerod					Boden- Kleinlinden				
	Körner					Körner				
	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
	2,6	79	55	4,7	41	2,7	42	59	4,4	34
I	2,6	43	58	3,7	35	2,9	35	46	3,2	33
II	3,0	40	53	3,3	37	2,9	34	39	2,7	27
V	3,8	41	48	2,9	37	4,2	31	51	2,7	30
	4,1	40	56	2,6	39	4,4	29	51	2,5	31

abelle 23: 1. Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union") P- und Mikronährstoff-Entzug (mg bzw. γ/Gefäß sowie Erträge (g lufttr.Sub./Gefäß)

VR	Versuchsdgg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	0	1,31	4,2	136	187	39	118	1,01	8,8	70	94	22	81
II	20	1,27	4,3	131	141	47	108	1,02	10,9	74	105	21	84
III	60	1,28	4,7	136	104	34	88	1,05	13,2	69	99	26	86
IV	100	1,27	5,1	132	105	41	80	1,08	14,3	79	112	30	102
V	140	1,28	5,5	126	99	39	76	1,04	14,4	78	99	41	82
VI	180	1,36	6,8	130	104	40	76	1,03	14,8	71	102	26	75

Tabelle 24: 2. Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union") P- und Mikronährstoff-Entzug (mg bzw, γ/Gefäß) sowie Erträge (g Lufttr.Sub/Gefäß)

VR	Versuchsdgg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	0	1,26	3,3	97	164	38	103	1,13	10,1	69	100	27	84
II	100	1,28	5,0	95	95	34	92	1,16	11,5	65	96	28	86
III	300	1,27	5,6	91	95	36	92	1,18	12,0	66	102	29	80
IV	600	1,27	5,7	91	90	37	98	1,17	12,3	61	101	30	80
V	900	1,26	6,3	91	79	37	98	1,21	12,7	62	104	30	82
VI	1200	1,22	5,9	94	64	36	89	1,21	12,7	62	109	29	75

Tabelle 25: 3. Versuch mit Sommergerste-Keimpflanzen ("Union") P- und Mikronährstoff-Entzug (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g lufttr.Sub./Gefäß)

VR	Versuchsdgg. mg P_2O_5 als Dicalcium-phosphat	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	0	1,31	4,1	64	194	23	810	1,03	10,3	66	110	22	70
II	100	1,33	5,6	94	183	29	468	1,07	11,0	75	182	30	66
III	300	1,32	7,8	140	228	47	289	1,03	11,7	64	198	24	70
IV	600	1,29	8,9	231	200	52	269	1,00	13,0	64	122	22	82
V	900	1,40	10,4	344	208	51	225	0,86	13,8	60	93	15	64
VI	1200	1,49	11,8	294	198	60	165	0,73	13,1	67	71	14	60

Tabelle 26: 1. Ernte (15 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

VR	Gef.	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Spross Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	2,2	5,9	193	65	154	781	5,3	6,4	164	270	58	607
	b.	2,2	5,3	200	84	153	1874	4,7	4,2	230	240	42	536
II	a.	2,0	7,8	113	69	145	964	5,2	14,6	187	239	57	465
	b.	2,5	9,0	180	86	204	625	6,9	13,1	207	276	76	621
III	a.	2,8	15,4	343	272	334	2281	7,6	27,4	403	471	80	684
	b.	2,2	13,2	175	115	216	1335	6,2	27,9	236	254	74	493
IV	a.	1,9	15,6	123	70	253	1682	5,1	26,0	209	270	61	398
	b.	2,7	18,6	308	85	395	2186	6,8	28,6	292	286	54	401
V	a.	2,4	23,0	475	195	458	2695	6,0	30,0	318	348	54	396
	b.	1,9	18,6	352	108	501	2275	5,9	30,7	319	301	71	389
VI	a.	3,4	34,7	469	194	625	4317	6,9	34,5	393	380	52	404
	b.	2,2	20,9	362	108	390	2571	5,6	28,0	241	269	50	372

Tabelle 27: 2. Ernte (29 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

		Wurzel						Sproß					
VR	Gef.	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	3,0	5,4	222	79	327	2848	9,4	9,4	780	442	113	1269
	b.	4,6	7,4	430	334	388	2253	11,3	12,4	791	542	107	1537
II	a.	7,1	14,2	306	203	462	2445	23,9	38,2	944	741	143	2486
	b.	3,3	10,2	266	119	266	3716	10,4	25,0	530	463	73	1113
III	a.	5.3	24,9	299	110	399	1979	16,8	55,4	848	571	118	2251
	b.	6,2	26,0	251	155	335	2503	20,8	64,5	707	666	125	1934
IV	a.	5,2	29,6	472	189	414	4894	17,8	62,3	641	587	107	1495
	b.	4,0	17,6	415	131	358	3528	13,6	49,0	599	530	82	1374
V	a.	3,3	17,2	276	123	320	4519	11,3	45,2	429	554	79	1141
	b.	4,7	32,0	346	119	370	4598	13,0	58,5	455	637	91	1222
VI	a.	2,9	16,2	180	91	282	4209	8,4	42,0	370	336	76	874
	b.	6,7	52,9	573	199	434	5175	18,9	90,7	690	558	113	1909

Tabelle 28: 3. Ernte (43 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Wasserkultur ("Gelber badischer Landmais")(mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

VR	Gef.	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	a.	6,2	8,7	459	186	421	5003	21,9	24,1	1205	909	153	3307
	b.	6,0	8,4	281	191	269	3152	23,8	26,2	1071	928	143	3594
II	a.	8,6	14,6	343	257	386	3149	42,8	55,6	1712	1241	193	5050
	b.	9,0	15,3	324	171	459	3222	40,8	61,2	1384	1180	204	4843
III	a.	7,6	25,1	555	327	402	3678	35,8	100,2	1539	1432	215	4582
	b.	9,5	33,3	718	345	406	6502	28,8	86,4	1325	1354	173	3888
IV	a.	10,9	50,1	567	447	632	5058	52,6	184,1	1683	1683	237	6259
	b.	11,4	58,1	637	638	695	6247	50,7	172,4	1698	1622	254	6185
V	a.	5,9	27,7	330	124	242	3160	26,2	107,4	917	891	131	2620
	b.	6,1	48,2	595	323	313	6105	20,9	106,6	920	1024	178	2613
VI	a.	10,4	90,5	669	732	616	6489	50,5	257,6	1919	2020	253	5909
	b.	10,0	50,0	350	175	470	2750	48,0	206,4	1968	1416	216	4800

Tabelle 29: 1. Ernte (Vereinzelung) (22 Tage nach Versuchsbeginn)

P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

		Wurzel						Sproß					
VR	Gef.	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	8 Gefäße	1,8	5,0	200	110	35	10089	15,1	58,9	1056	1664	191	2400
II	8 Gefäße	1,6	7,2	184	74	29	7043	9,0	61,2	542	988	131	1615
III	8 Gefäße	2,2	10,3	186	99	55	10729	9,5	64,6	530	1000	116	1300
IV	8 Gefäße	2,0	9,6	198	74	48	8398	16,2	121,5	1037	1904	210	2550
V	8 Gefäße	2,0	10,2	207	112	52	9890	15,6	126,4	1039	2112	180	2145
VI	8 Gefäße	2,2	12,5	252	120	55	9336	10,5	89,3	627	1540	114	1320

Tabelle 30: 2. Ernte (32 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg bzw.γ/Gefäß) sowie Erträge (ATM/Gefäß)

		Wurzel						Sproß					
VR	Gef.	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	9,8	15,7	547	1995	463	6099	18,4	42,3	975	1521	200	4095
	b.	8,4	12,6	425	1820	431	4500	18,4	42,3	1092	1482	182	3218
II	a.	10,2	30,6	426	1008	427	3780	22,1	95,0	1058	2068	197	3995
	b.	9,2	29,4	410	1026	387	4218	20,0	100,0	859	1611	183	3816
III	a.	9,2	41,4	468	968	491	2826	25,0	152,5	1166	2332	250	4240
	b.	10,2	46,9	486	1236	478	3120	20,0	106,0	890	1951	184	4240
IV	a.	8,8	57,2	512	1320	527	3988	18,4	134,3	878	1931	183	3218
	b.	10,8	61,6	514	1196	544	4160	21,2	148,4	1046	2610	233	4612
V	a.	9,3	67,0	539	1089	518	3080	18,1	139,4	893	2112	181	3120
	b.	8,3	51,5	450	1080	452	2800	17,5	126,0	860	2035	170	3330
VI	a.	8,8	69,5	513	1192	534	3480	20,0	154,0	1097	2748	198	3621
	b.	7,7	52,4	450	774	363	2175	19,3	146,7	1066	2460	177	3793

Tabelle 31: 3. Ernte (42 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg.bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

VR	Gef.	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	16,9	18,6	750	2888	588	2470	50,2	65,3	2146	3074	306	7619
	b.	18,4	20,2	688	2902	547	3037	44,6	58,0	1786	3149	276	8575
II	a.	20,5	41,0	612	1920	531	2790	49,6	138,9	1820	3640	249	7215
	b.	17,4	36,5	584	1906	600	2279	48,9	156,5	1803	4223	260	6824
III	a.	19,9	73,6	955	1610	711	2386	49,6	188,5	1950	4212	267	7215
	b.	19,0	68,4	671	1540	632	2145	47,5	185,3	1750	3900	284	7313
IV	a.	20,1	96,5	792	1704	787	2610	49,7	218,7	2051	4208	277	7890
	b.	17,7	83,2	714	1500	660	1916	47,6	214,2	1962	3924	257	7356
V	a.	19,0	108,3	860	1760	815	2131	46,5	232,5	1862	4361	241	6493
	b.	17,5	112,0	869	2156	897	2640	46,8	238,7	1881	3663	244	7302
VI	a.	18,8	120,3	979	2002	975	2008	44,5	258,1	1833	4888	264	6227
	b.	20,7	142,8	1186	2050	970	2719	44,7	254,8	1763	3995	250	6874

Tabelle 32: 4. Ernte (52 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais")(mg bzw, γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

		Wurzel						Sproß					
VR	Gef.	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	21,1	25,3	1269	2515	745	3261	64,3	70,7	2565	3478	288	10125
	b.	20,8	22,9	1185	2852	706	2990	65,5	72,1	2484	3313	297	9246
II	a.	20,4	42,8	736	1633	623	2674	69,1	158,9	2248	4132	296	9425
	b.	22,8	45,6	1183	1638	585	2828	71,8	165,1	2625	4200	357	10500
III	a.	22,7	74,9	1058	1607	690	2965	72,2	223,8	2190	4379	333	10721
	b.	20,2	70,7	736	1058	580	2616	65,0	208,0	2176	3808	279	13328
IV	a.	20,3	89,3	1023	1495	742	2041	64,6	251,9	2165	4523	325	9315
	b.	19,8	87,1	1067	1816	711	2383	69,8	244,3	2336	4161	347	12775
V	a.	20,8	118,6	1081	1748	795	1984	67,0	288,1	2100	4621	314	9380
	b.	17,8	99,7	1050	1520	699	2100	61,6	271,0	2386	5031	362	9675
VI	a.	21,0	136,5	2168	2083	853	2603	65,0	305,5	2380	4896	354	9384
	b.	21,1	141,4	1980	2232	863	2610	67,9	332,7	2272	4757	331	9674

Tabelle 33: 5. Ernte (62 Tage nach Versuchsbeginn)
P- und Mikronährstoff-Entzug durch Maispflanzen in der Sandkultur ("Gelber badischer Landmais") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

VR	Gef.	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	a.	21,7	23,9	1113	2900	569	4750	63,6	63,6	3183	4087	264	9246
	b.	25,5	23,0	1204	3074	789	4785	93,2	83,9	3528	3626	393	13916
II	a.	30,5	58,0	1628	2415	900	5460	117,9	200,4	4446	5804	458	14573
	b.	26,6	50,5	1056	1280	608	4832	101,0	161,6	2756	5406	379	13356
III	a.	27,6	74,5	1317	1984	949	4154	104,0	260,0	3597	5014	353	14824
	b.	30,0	75,0	1564	1849	883	5110	105,4	253,0	3420	4964	346	14785
IV	a.	30,4	118,6	1332	2331	1138	5106	105,5	327,1	3094	4862	349	13039
	b.	31,1	121,3	1588	2300	909	4307	122,0	353,8	3712	5760	417	15616
V	a.	28,6	148,7	1369	2244	1100	3739	94,0	347,8	2673	4950	307	11286
	b.	27,5	143,0	1188	2178	1155	3960	97,4	409,1	2987	5459	325	11742
VI	a.	31,8	194,0	2185	2584	1315	4636	103,3	392,5	3270	5450	355	12862
	b.	31,4	197,8	2034	2700	1305	3420	101,7	396,6	3210	5565	338	14766

Tabelle 34: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

	1. Ernte am 17.3.1971 (Vereinzelung)						2. Ernte am 1.4.1971 (Vereinzelung)					
Boden - Annerod												
VR	Ertrag g	Sproß P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	Sproß P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	2,9	6,7	165	531	45,0	974	3,0	6,6	180	550	34,0	834
II	3,3	10,9	215	495	54,1	1094	4,3	19,8	314	778	51,6	1496
III	3,7	15,5	241	507	62,2	1240	5,5	41,3	352	820	69,3	1804
IV	3,9	20,3	265	484	69,8	1240	6,5	63,7	481	871	86,5	2113
V	4,3	26,7	284	482	72,7	1299	6,4	70,4	467	762	83,2	2093
Boden - Kleinlinden												
VR	Ertrag g	Sproß P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	Sproß P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	3,9	10,9	250	616	66,3	1424	4,6	12,9	207	543	53,4	1849
II	3,9	20,3	265	534	71,8	1463	5,6	29,1	308	588	67,8	2335
III	3,8	22,0	239	536	73,7	1539	6,0	46,8	330	558	80,4	2304
IV	3,9	27,3	230	503	67,1	1619	5,9	51,3	325	549	83,3	1440
V	4,0	29,2	212	492	67,6	1560	5,7	53,0	342	524	67,3	1921

Tabelle 35: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

3. Ernte am 26.4.1971 (Bestocken beendet)

Boden-Annerod

	Wurzel						Sproß					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	4,8	7,2	173	2626	26,9	7430	4,4	7,9	475	880	29,9	1078
II	7,0	15,4	350	4774	58,8	33642	11,1	44,4	1476	1987	97,7	2786
III	9,1	28,2	473	4241	72,8	22113	15,0	82,5	2160	2715	138,0	4575
IV	8,0	32,8	800	3512	117,6	26816	16,9	157,2	2197	2552	162,2	4141
V	9,3	46,5	818	3432	77,2	19604	16,1	162,6	2077	2351	144,9	4653

Boden-Kleinlinden

	Wurzel						Sproß					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	4,7	9,9	324	4507	119,9	19529	4,5	7,7	428	1040	34,2	2732
II	7,9	22,1	514	2315	180,9	19797	10,2	42,8	724	898	66,3	3427
III	9,7	34,9	475	2231	176,5	18983	12,5	73,8	1013	1100	91,3	3538
IV	9,8	43,1	529	2773	207,8	18855	12,1	89,5	726	992	92,0	3122
V	9,6	48,0	374	1450	191,0	17587	13,3	102,4	758	1024	98,4	3325

Tabelle 36: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

4. Ernte am 12.5.1971 (im Schossen)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	6,4	4,5	262	2880	12,2	9549	8,1	6,5	851	1361	47,0	1936
II	11,3	17,0	373	3616	41,8	20453	29,5	53,1	1947	3334	156,4	4573
III	13,5	28,4	581	3429	67,5	30632	34,7	104,1	2498	3366	246,4	4650
IV	17,2	48,2	963	3853	129,0	26385	38,9	194,5	2645	3540	276,2	4512
V	15,8	61,6	1090	4061	124,8	29435	38,9	225,6	2567	3345	268,4	3618

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	6,9	9,7	235	3243	76,6	14863	9,7	14,6	757	1407	76,6	2047
II	14,4	30,2	1440	3656	-	26525	25,5	71,4	1326	2066	155,6	5330
III	15,9	41,3	572	2783	209,9	30751	28,9	115,6	1445	1561	159,0	4711
IV	15,3	41,3	383	1882	260,1	20946	29,0	136,3	1218	1479	145,0	5046
V	15,2	57,8	410	2523	243,2	26904	29,1	145,5	1135	1193	189,2	5354

Tabelle 37: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

5. Ernte am 26.5.1971 (Halmstreckung)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	6,2	5,0	316	2145	19,8	4377	9,5	5,7	703	1425	57,0	1425
II	14,6	11,7	905	3986	58,4	23272	50,4	40,4	2570	3226	211,7	5998
III	15,0	15,0	765	3030	97,5	23340	63,1	88,3	3281	4354	271,3	7446
IV	16,1	35,4	1272	3832	175,5	37851	66,5	186,2	3525	4256	272,7	6451
V	18,6	55,8	1488	3850	163,7	40808	63,0	195,3	3717	4032	220,5	8064

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	8,6	11,2	568	2967	127,3	22670	16,8	20,2	1008	1462	126,0	2705
II	20,1	28,1	1065	4925	215,1	50632	50,5	101,0	2475	2677	287,9	7575
III	19,1	40,1	917	2235	148,9	40263	53,7	150,4	2363	1933	359,8	8324
IV	18,9	47,3	851	2665	283,5	53506	53,3	165,2	2025	1492	325,1	7462
V	19,9	61,7	1095	4358	268,7	55143	54,3	173,8	2444	1575	320,4	6733

Tabelle 38: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

6. Ernte am 8.6.1971 (Ährenschieben)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	6,8	5,4	320	1822	48,3	4073	15,6	14,0	655	2964	90,5	2418
II	14,1	11,3	550	2369	67,7	15905	78,7	63,0	2518	8185	291,2	8736
III	15,6	15,6	499	2137	57,7	15837	92,4	138,6	2218	8316	268,0	10441
IV	16,0	24,0	864	3440	121,6	24256	98,6	216,9	3254	9860	305,7	11339
V	17,4	33,1	1148	3532	113,1	24064	89,7	260,1	3229	7086	314,0	11482

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	Wurzel P mg	Wurzel Zn γ	Wurzel Mn γ	Wurzel Cu γ	Wurzel Fe γ	Sproß Ertrag g	Sproß P mg	Sproß Zn γ	Sproß Mn γ	Sproß Cu γ	Sproß Fe γ
I	9,4	11,3	508	3600	223,7	30230	36,5	47,5	1205	3541	160,6	4818
II	17,9	16,1	537	4708	227,3	33634	83,3	133,3	2499	5248	274,9	10329
III	18,9	32,1	624	4479	234,4	24060	86,3	198,5	2330	5264	267,5	9752
IV	20,0	44,0	780	3640	258,0	29680	86,3	233,0	2762	4315	310,7	11651
V	18,9	43,5	605	3856	257,0	25893	84,4	236,3	2194	4220	227,9	11985

Tabelle 39: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

7. Ernte am 22.6.1971 (Blüte beendet)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	5,8	4,6	278	1444	51,6	5620	20,9	18,8	1129	3386	89,9	3051
II	12,6	10,1	441	2381	112,1	15397	102,5	92,3	3690	8918	328,0	10353
III	14,1	12,7	310	2002	95,9	12662	119,4	167,2	3701	8716	370,1	13015
IV	15,2	19,8	547	2265	79,0	14379	125,7	276,5	4399	9428	452,5	13324
V	12,2	24,4	488	1696	91,5	11944	116,4	314,3	3958	9079	419,0	13735

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	8,5	14,5	663	3222	238,9	22839	51,1	61,3	1686	4241	210,0	5877
II	14,3	14,3	315	3632	124,4	17074	114,2	148,5	3426	8222	388,3	16216
III	16,5	24,8	578	2558	174,9	20889	113,8	227,6	3073	8876	375,5	17867
IV	16,1	30,6	306	1723	149,7	14683	117,6	258,7	3058	5527	364,6	13524
V	17,3	45,0	623	3425	192,0	20501	118,2	283,7	3191	5319	366,4	14539

Tabelle 40: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

8. Ernte am 5.7.1971 (Milchreife)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	5,3	5,3	281	1373	70,5	5676	31,2	18,7	1934	3682	137	4212
II	12,9	11,6	452	1742	94,2	12823	145,9	43,8	5836	14152	379	19842
III	13,9	12,5	459	1640	86,2	14929	164,9	98,9	6431	14676	429	22262
IV	14,3	17,2	543	1945	78,7	17302	171,8	189,0	7044	14947	481	24052
V	12,5	22,5	450	1838	70,0	12263	152,6	213,6	5951	12971	488	25179

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	8,9	11,6	507	2519	176,2	17613	86,0	60,2	3182	7826	310	16426
II	15,4	13,9	477	3373	170,9	26811	152,1	76,1	4563	13689	411	30268
III	15,7	17,3	581	2559	180,6	25717	152,4	137,2	3962	13411	442	34595
IV	14,6	20,4	438	1810	141,6	14980	152,2	167,4	3653	**9284**	381	29679
V	15,9	31,8	668	2798	217,8	17729	160,8	225,1	4502	**9809**	434	31678

Tabelle 41: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

9. Ernte am 16.7.1971 (Teigreife)

Boden-Annerod

	Wurzel						Sproß					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	5,3	3,7	201	1182	65,2	4473	24,5	12,3	1201	3896	76	2597
II	10,0	6,0	400	1250	61,0	8290	87,1	26,1	2439	11410	174	16201
III	10,6	6,4	276	795	39,2	6932	95,3	28,6	3050	10483	238	20490
IV	11,9	9,5	369	1131	47,6	8271	92,7	64,9	3801	10939	260	18169
V	12,4	12,4	409	1612	74,4	10664	84,8	84,8	3307	8734	246	19589

Boden-Kleinlinden

	Wurzel						Sproß					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	6,2	4,3	279	1705	110,4	7973	53,0	26,5	1431	6519	138	7579
II	13,2	6,6	317	1835	100,3	12949	96,5	38,6	2316	10808	183	22195
III	14,0	9,8.	266	1372	103,6	13454	87,6	43,8	1927	6570	237	19184
IV	14,3	15,7	315	1730	141,6	13871.	85,9	68,7	1890	7817	266	21303
V	15,4	23,1	447	2110	184,8	13875	88,1	79,3	2291	6079	220	21849

Tabelle 42: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

10. Ernte am 27.7.1971 (Vollreife)

Boden-Annerod

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	4,3	3,4	194	1088	83,0	5960	22,7	6,8	1453	3973	75	4676
II	12,9	9,0	452	1780	86,4	12848	82,2	16,4	4603	11920	230	23920
III	10,4	8,3	374	1591	74,9	12771	84,3	25,3	4384	10200	295	32961
IV	12,0	12,0	480	2076	84,0	14604	81,0	40,5	4780	8343	259	30537
V	13,5	14,9	527	2106	97,2	15269	79,0	55,3	4898	9085	292	29862

Boden-Kleinlinden

VR	Wurzel Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Sproß Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	8,6	6,0	585	2563	206,4	21431	58,7	17,6	2289	6574	211	18608
II	12,8	9,0	550	3264	175,4	18086	80,4	16,1	3216	9246	249	27175
III	14,6	11,7	438	1898	143,1	14147	80,4	32,2	2894	9005	233	29587
IV	13,6	15,0	558	1986	-	22875	78,6	47,2	2908	8489	220	26803
V	14,9	23,8	596	2518	253,3	25047	81,0	64,8	2916	7047	251	28917

Tabelle 43: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/g Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

8. Ernte am 5.7.1971 (Milchreife)

	Boden-Annerod Körner						Boden-Kleinlinden Körner					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	2,4	8,4	146	350	17,3	94	7,9	28,4	363	782	45,0	308
II	24,5	61,3	96	1813	127,4	956	28,3	96,2	1160	1868	138,7	991
III	36,7	110,1	140	2496	165,2	1358	29,9	122,6	1726	1794	125,6	1047
IV	37,7	147,0	155	2639	147,0	1546	34,9	139,6	1256	1989	143,1	1082
V	33,5	134,0	144	2446	127,3	1307	37,1	148,4	1224	2041	133,6	1076

Tabelle 44: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

9. Ernte am 16.7.1971 (Teigreife)

	Boden - Annerod Körner						Boden-Kleinlinden Körner					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	6,8	19,7	462	646	31,9	252	17,9	43,0	788	1343	85,9	788
II	37,5	86,3	1350	2850	161,3	1313	51,7	144,8	1810	3050	165,4	1499
III	58,4	169,4	1927	3270	181,0	2161	53,5	210,0	1766	3157	144,5	1338
IV	64,5	238,7	2387	3612	193,5	2774	56,5	231,7	1865	3334	163,9	1695
V	61,7	246,8	2160	3455	166,6	2283	59,6	244,4	1669	3040	166,9	1728

Tabelle 45: P- und Mikronährstoff-Entzug durch Winterweizen im Gefäßversuch ("Diplomat") (mg/g bzw. γ/Gefäß) sowie Erträge (g ATM/Gefäß)

10. Ernte am 27.7.1971 (Vollreife)

	Boden-Annerod Körner						Boden-Kleinlinden Körner					
VR	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ	Ertrag g	P mg	Zn γ	Mn γ	Cu γ	Fe γ
I	13,2	34,3	1043	726	62,0	541	36,6	98,8	1537	2159	161,0	1244
II	45,9	119,3	1974	2662	169,8	1607	58,0	168,2	2030	2668	185,6	1914
III	62,7	188,1	2508	3323	206,9	2320	62,7	244,5	2132	2445	169,3	1693
IV	64,4	244,7	2640	3091	186,8	2383	62,9	264,2	1950	3208	169,8	1887
V	67,3	275,9	2692	3769	175,0	2625	62,2	273,7	1804	3172	155,5	1928

Tabelle 46: P-Gehalte (mg P_2O_5/100 g Quarzsand) im Sandkulturversuch (DL-Methode)

VR	2.Ernte	3.Ernte	4.Ernte	5.Ernte
		mg P_2O_5		
I	1,125	0,500	0,250	0,250
	1,000	0,625	0,250	0,183
II	2,750	1,625	0,626	0,938
	2,750	2,000	0,750	1,125
III	3,500	2,750	2,750	2,250
	3,500	3,625	1,875	2,250
IV	4,250	4,750	3,250	3,875
	5,125	4,500	4,375	4,063
V	6,625	5,125	4,250	4,000
	5,125	4,375	3,875	4,000
VI	7,000	6,125	4,875	4,375
	6,375	5,000	4,250	4,063

Tabelle 47: P-Gehalte (mg P_2O_5/100 g Boden) im Bodenkulturversuch (DL-Methode)

VR	3.Ernte	4.Ernte	5.Ernte	6.Ernte	7.Ernte	8.Ernte	9.Ernte	10.Ernte
			mg P_2O_5					
			Boden-Annerod					
I	0,875	0,813	1,000	1,000	0,688	0,500	0,250	0,500
II	2,188	2,500	2,313	1,125	2,000	2,063	1,125	1,125
III	5,625	4,500	4,313	3,375	4,750	4,063	4,500	4,625
IV	15,375	14,625	11,938	9,750	11,375	11,500	10,000	14,250
V	44,125	43,625	43,938	40,500	41,250	38,750	39,625	32,000
			Boden-Kleinlinden					
I	2,000	1,500	1,250	1,313	1,125	1,000	0,875	0,688
II	3,938	3,000	3,063	2,500	2,500	1,875	1,875	1,500
III	7,688	5,625	5,625	4,750	4,875	3,750	3,938	3,375
IV	15,625	13,750	11,875	9,688	9,625	8,625	7,125	9,063
V	37,750	44,063	37,438	38,375	20,000	20,750	31,375	16,750

LEBENSLAUF

Am 14.11.1943 wurde ich in Qubaiba/Palästina als Sohn des Landwirtes Mohammed Abu Dahi und seiner Ehefrau Mariam Abu Ziada, geboren. 1948 flüchteten wir in den Gaza-Streifen. Dort begann ich 1950 meine Schulausbildung und beendete sie 1961 mit dem Abitur.

Ab Oktober 1961 studierte ich an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Alexandria (Ägypten), acht Semester, Schwerpunkt: Bodenkunde. Im Juni 1965 erhielt ich den Grad B.Sc. (degree of Bachelor of Science) in Bodenkunde.

Nach neunmonatiger Tätigkeit als Agraringenieur im Landwirtschaftsministerium, Abteilung: Chemisch-physikalische Bodenuntersuchungen in Kairo-Giza, erhielt ich vom Deutschen Akademischen Austauschdienst ein Stipendium zur Fortsetzung meines fortgeschrittenen Studiums in Deutschland.

Im Wintersemester 1967 begann ich mein Studium an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn und im Sommersemester 1969 setzte ich es an der Justus Liebig-Universität Giessen fort. Im September 1970 legte ich die Diplom-Hauptprüfung ab. Seit November 1970 arbeite ich im Institut für Pflanzenernährung der Justus Liebig-Universität Giessen an der vorliegenden Dissertation.

Chemoprint-Druck 63 Gießen Frankfurter Str. 129 Ruf (0641) 75712